

**Lindner, Marco**

**Konstruktive Neugestaltung  
des Legereinsatzes für Glasrovings  
an Multiaxialmaschinen**

**DIPLOMARBEIT**

**HOCHSCHULE MITTWEIDA (FH)**  

---

**UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES**

**Fachbereich Maschinenbau/ Feinwerktechnik**

Mittweida, 2009

## **Bibliographische Beschreibung**

Lindner, Marco:

Konstruktive Neugestaltung des Legereinsatzes für Glasrovings an Multiaxialmaschinen, Mittweida, Hochschule Mittweida (FH) Fachbereich Maschinenbau/ Feinwerktechnik, 2009, 78 Seiten

## **Kurzreferat**

Ziel dieser Diplomarbeit war die Neukonstruktion des derzeitigen Legereinsatzes und damit eine Verbesserung hinsichtlich kostenrelevanter Aspekte und des Standvermögens.

Dafür wurden verschiedene Lösungsansätze erarbeitet und die Ergebnisse miteinander verglichen. Die daraus resultierenden relevanten Varianten wurden einer ausführlichen Untersuchung bezüglich Materialauswahl, Herstellung und Beschichtung des Legereinsatzes unterzogen.

**Lindner, Marco**

**Konstruktive Neugestaltung  
des Legereinsatzes für Glasrovings  
an Multiaxialmaschinen**

eingereicht als

**DIPLOMARBEIT**

an der

**HOCHSCHULE MITTWEIDA (FH)**  

---

**UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES**

**Fachbereich Maschinenbau/ Feinwerktechnik**

Chemnitz, 2009

**Erstprüfer:** Herr Prof. Dr.-Ing. Frank Müller, Hochschule Mittweida (FH)  
**Zweitprüfer:** Herr Dipl.-Ing. Klaus Wiedenhöft, Karl Mayer MALIMO  
Textilmaschinenfabrik GmbH, Chemnitz

Verteidigung am:

## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	IV
Tabellenverzeichnis .....	VII
Abkürzungsverzeichnis.....	VIII
1    Einleitung und Zielstellung.....	1
2    Theoretische Grundlagen.....	3
2.1    Glasfaserverbund .....	3
2.1.1    Glasroving.....	3
2.1.2    Aufbau und Eigenschaften des Glasfaserverbundes .....	5
2.2    Glasfasergelege.....	7
2.3    Herstellung des Geleges.....	8
2.3.1    Multiaxialmaschine.....	8
2.3.2    Legprinzip der Multiaxialmaschine .....	8
2.4    Belastbarkeit von Glasfilamenten .....	11
2.4.1    Reibbelastung.....	11
2.4.2    Fadendynamik.....	11
2.4.3    Biegebelastung von Glasfilamenten .....	14
2.5    Tribologie.....	15
3    Derzeitiger Legereinsatz .....	17
4    Präzisieren der Aufgabenstellung .....	20
5    Vorgehensweise zur Lösungsfindung.....	21
6    Ermittlung von Lösungsansätzen.....	22
6.1    Fadenumlenkung.....	22
6.2    Fadenseparierung .....	24
6.3    Lösungsvarianten der Fadenseparierung und Umlenkung.....	25
6.3.1    Legereinsatz aus zwei Formhälften (Variante I).....	25
6.3.2    Legereinsatz als Aufsteckvariante (Variante II) .....	26
6.3.3    Separierung mit Bohrungen (Variante III).....	27
6.3.4    Getrennte Separier- und Umlenkeinrichtung (Variante IV und V) .....	27
6.3.5    Legereinsatz aus Zylindern mit Nuten (Variante VI, VII und VIII).....	28
6.3.6    Legereinsatz aus Feder und Zylindern (Variante IX) .....	30
6.3.7    Legereinsatz aus einem Frästeil (Variante X).....	31
6.3.8    Legereinsatz mit Zylinder (Variante XI) .....	32
6.3.9    Frästeil mit verschleißfesten Umlenkelementen (Variante XII).....	32

---

6.4	Variantenvergleich .....	33
7	Lösungsansätze für die Befestigung der Stifte .....	35
7.1	Materialauswahl für die Stifte .....	35
7.2	Gestaltungsmöglichkeiten für Bohrungen und Nuten .....	36
7.2.1	Untersuchung der Stiftbefestigung in einer Bohrung .....	36
7.2.2	Untersuchung der Stiftbefestigung in einer Nut .....	38
7.3	Möglichkeiten der Stiftbefestigung .....	40
7.3.1	Schweißen .....	40
7.3.2	Kleben .....	43
7.3.3	Löten .....	45
7.3.4	Zusammenfassung der Stiftbefestigungsvarianten .....	48
8	Ermittlung der Kräfte für den Legereinsatz .....	49
9	Untersuchung der Legereinsatzvariante XI .....	51
9.1	Werkstoffliche Möglichkeiten .....	51
9.2	Untersuchung von verschleißfesten Schichten .....	52
9.3	Bestimmung der Winkelmaße und der Krafrichtung .....	53
9.4	Flächenschwerpunkte und Widerstandsmoment .....	55
9.5	Biegespannung .....	55
9.6	Befestigung der Stifte .....	57
9.7	Befestigung mit angedrehtem Zapfen .....	58
9.8	Spanende Bearbeitung .....	59
9.9	Erprobung .....	61
10	Untersuchung der Legereinsatzvariante XII .....	62
10.1	Keramikwerkstoffe als Umlenkelemente .....	62
10.2	Hartmetallwerkstoff als Umlenkelemente .....	63
10.3	Gestaltungsmöglichkeiten des Grundkörpers .....	65
10.4	Bestimmung der Winkelmaße und der Krafrichtung .....	66
10.5	Widerstandsmoment (Variante XII) .....	69
10.6	Biegespannung am Querschnitt des Legereinsatzes .....	70
10.7	Befestigung der Stifte .....	70
10.8	Befestigung mittels Schraubverbindung .....	71
10.9	Befestigung am Halter mit Zylinderstiften .....	72
10.10	Brücke zur Unterstützung .....	73
10.11	Fräsen des Grundkörpers Variante XII .....	74

---

10.12	Montage des Legereinsatzes Variante XII.....	75
10.13	Anschließende Erprobung.....	75
11	Gegenüberstellung der Legereinsatzvarianten XI und XII.....	76
12	Zusammenfassung und Ausblick.....	77
Anhang.....		X
Quellenverzeichnis.....		XL

**Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Schema des Düsenziehverfahrens /Int. 13/ .....	3
Abbildung 2: Schema des Düsenblasverfahrens/Int. 13/ .....	4
Abbildung 3: Multiaxiales Gelege /Int. 5/ .....	7
Abbildung 4: Anlagenprinzip der Multiaxialmaschine /Int. 15/ .....	8
Abbildung 5: Einhängen der Fadenschar, 1: Stift-Haken, 2: Nadelfeld, 3: Stift-Stift .....	9
Abbildung 6: Prinzip des Einhängens .....	10
Abbildung 7: Prinzip der Umlenkung .....	10
Abbildung 8: Fadenfluss um eine Umlenkung mit Reibung .....	12
Abbildung 9: Geschwindigkeitsansatz für freie Strecken /2; Seite 140/ .....	13
Abbildung 10: Skizze der Kraftverteilung .....	13
Abbildung 11: 8"-Legereinsatz (Draufsicht) .....	17
Abbildung 12: 8"-Legereinsatz (Ansicht von unten) .....	17
Abbildung 13: 8"-Legereinsatz (Seitenansicht) .....	17
Abbildung 14: 8"-Legereinsatz mit Verschleißerscheinung .....	18
Abbildung 15: Zerbrochener Legereinsatz .....	18
Abbildung 16: 6"-Legereinsatz mit Keramikstäben (Draufsicht) .....	19
Abbildung 17: 6"-Legereinsatz mit Keramikstäben (Ansicht von unten) .....	19
Abbildung 18: 6"-Legereinsatz mit eingeklebten Keramikstäben (Seitenansicht) .....	19
Abbildung 19: Umlenkung des Fadens um einen Zylinder .....	22
Abbildung 20: Umlenkung des Fadens um eine Rolle .....	23
Abbildung 21: Umlenkung um zwei Zylinder .....	23
Abbildung 22: Umlenkung um ein Blech .....	23
Abbildung 23: Fadenseparierung mit Stiften .....	24
Abbildung 24: Fadenseparierung durch eine Verzahnung .....	24
Abbildung 25: Legereinsatzvariante I .....	25
Abbildung 26: Mögliche Probleme der Variante I .....	25
Abbildung 27: Legereinsatzvariante II .....	26
Abbildung 28: Distanzstück .....	26
Abbildung 29: Blech .....	26
Abbildung 30: Legereinsatzvariante mit Bohrungen .....	27
Abbildung 31: Legereinsatzvariante IV .....	28
Abbildung 32: Legereinsatzvariante V .....	28
Abbildung 33: Stift in der Nut vom Zylinder .....	28

Abbildung 34: Blech in der Nut vom Zylinder.....	29
Abbildung 35: Variante VI.....	29
Abbildung 36: Variante VII.....	29
Abbildung 37: Variante VIII.....	30
Abbildung 38: Legereinsatzvariante IX.....	30
Abbildung 39: Flachstahl mit Langloch und Bohrungen.....	30
Abbildung 40: Variante X.....	31
Abbildung 41: Variante X mit Absatz .....	31
Abbildung 42: Legereinsatzvariante XI.....	32
Abbildung 43: Legereinsatzvariante XII .....	32
Abbildung 44: Bohrung und Stift mit Spalt.....	36
Abbildung 45: Bohrung mit Senkung .....	36
Abbildung 46: Befestigung durch Einpressen .....	37
Abbildung 47: Stift mit Passung und zusätzlicher Schweißnaht .....	37
Abbildung 48: Befestigung des Stiftes in einer Nut .....	38
Abbildung 49: Kerbe zu Stiftpositionierung.....	38
Abbildung 50: Bestimmung der Tiefe der Nut .....	39
Abbildung 51: Werkstoffe im Schaeffler-Diagramm .....	43
Abbildung 52: Befestigung mit Lotwerkstoff als Band.....	47
Abbildung 53: Schusslegesystem in 45°-Winkel .....	49
Abbildung 54: Schusslegesystem in 90°-Winkel .....	49
Abbildung 55: Berechnung der Fadenkraft nach der Einhängevorrichtung .....	50
Abbildung 56: Legereinsatzvariante XI.....	51
Abbildung 57: Berechnung der Kraftrichtung der Variante XI.....	53
Abbildung 58: Skizze zur Berechnung von I und $y_0$ .....	55
Abbildung 59: Fadenschar einseitig .....	56
Abbildung 60: Fadenschar gleichmäßig verteilt.....	56
Abbildung 61: Angreifende Kräfte an Stift .....	57
Abbildung 62: Prinzipskizze der Zapfen .....	58
Abbildung 63: Skizze zur Berechnung des Zapfens.....	58
Abbildung 64: Skizze des Drehteils.....	59
Abbildung 65: Fräsen der Rundstäbe.....	60
Abbildung 66: Variante XII.....	62
Abbildung 67: Nutgestaltung der Variante XII .....	65



---

Abbildung 68: Skizze zur Berechnung der Winkel .....	66
Abbildung 69: Winkel am unteren Umlenkelement .....	66
Abbildung 70: Skizze der Krafrichtung .....	67
Abbildung 71: Skizze zur Berechnung des Flächenschwerpunktes .....	69
Abbildung 72: Angreifende Kräfte auf Klebverbindung .....	71
Abbildung 73: Befestigung des Legereinsatzes mit Schrauben.....	71
Abbildung 74: Skizze zur Bestimmung der Stiftdurchmesser.....	72
Abbildung 75: Geschweißte Brücke .....	73
Abbildung 76: Skizze zur Fräsbearbeitung.....	74

**Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Auswahl der Arten von Verstärkungsfasern.....	5
Tabelle 2: Bewertungen für Variantenvergleich.....	33
Tabelle 3: Vergleich der Lösungsansätze .....	34
Tabelle 4: Zusammenfassung von möglichen Stiftwerkstoffen .....	35
Tabelle 5: Zusammenfassung der Fräswerkzeuge zu Nutherstellung .....	39
Tabelle 6: Werkstoffe mit Legierungselementen.....	41
Tabelle 7: Errechnete Äquivalente .....	42
Tabelle 8: Zusammenfassung der Klebstoffe .....	44
Tabelle 9: Berechnung der erforderlichen Überlapplänge beim Kleben .....	45
Tabelle 10: Zusammenfassung der Lotwerkstoffe.....	46
Tabelle 11: Berechnung der erforderlichen Überlapplänge beim Lötten .....	47
Tabelle 12: Zusammenstellung des Grundmaterials.....	51
Tabelle 13: Zusammenstellung für eine Beschichtung.....	52
Tabelle 14: Zusammenfassung der axialen Flächen und Widerstandsmomente .....	55
Tabelle 15: Ergebnisse der Berechnung der Biegespannung.....	56
Tabelle 16: Ergebnisse der Durchbiegungsberechnung.....	57
Tabelle 17: Werkzeuge für die Drehbearbeitung.....	59
Tabelle 18: Arbeitgänge beim Drehen (pro Rundstab).....	60
Tabelle 19: Zusammenstellung der Fräswerkzeuge.....	60
Tabelle 20: Arbeitsgänge beim Fräsen .....	61
Tabelle 21: Arbeitsgänge beim Fügen .....	61
Tabelle 22: Zusammenstellung von Aktivloten für Keramiken .....	63
Tabelle 23: Zusammenstellung von Klebstoffen für Keramiken.....	63
Tabelle 24: Zusammenstellung der Eigenschaften von „Carbidur 902“ .....	64
Tabelle 25: Materialauswahl Grundkörper für Variante XII .....	65
Tabelle 26: Zusammenfassung der axialen Flächen und Widerstandsmomente .....	69
Tabelle 27: Ergebnisse der Biegespannung .....	70
Tabelle 28: Werte der maximalen Durchbiegung.....	70
Tabelle 29: Zusammenstellung möglicher Zylinderstifte.....	72
Tabelle 30: Werkzeugauswahl zum Fräsen .....	74
Tabelle 31: Arbeitsgänge beim Fräsen mit Bearbeitungszeit .....	75
Tabelle 32: Arbeitsgänge bei der Montage.....	75
Tabelle 33: Gegenüberstellung der Legereinsatzvarianten.....	76

**Abkürzungsverzeichnis**

a	[mm]	Lötspalt bzw. Klebefuge
B	[mm]	Legereinsatzbreite
BT		Bauteil
C		Faktur zur Nutbearbeitung
C-Gehalt	[%]	Kohlenstoffgehalt
CVD		Chemical Vapour Deposition (Chemisches Abscheiden aus der Gasphase)
d	[mm]	Durchmesser
DIN		Deutsches Institut für Normung
DIN ISO		Internationale Norm
DLC		Diamond like carbon (diamantähnlichen Kohlenstoff)
e		Euler'sche Zahl ( $e = 2,718$ )
E	[N/mm <sup>2</sup> ]	E-Modul
EP		Epoxydharz
$e_T$		Einheitsvektoren
$e_{\text{Indizes}}$	[mm]	größter Randfaserabstand
F	[N]	Kraft
F	[mm]	Vorschub
$f_m$	[mm]	Durchbiegung in der Mitte vom Legereinsatz
fz	[mm]	Vorschub pro Schneide
$f_z$	[ $\mu\text{m}$ ]	Setzbetrag
Gew. Wert		gewichteter Wert
H	[mm]	Legereinsatzhöhe
h6		Toleranzangabe (Toleranzklasse h; IT 6; Wellen)
H7		Toleranzangabe (Toleranzklasse H; IT 7; Bohrung)
HM		Hartmetall
HSS		Hochleistungs-Schnellarbeitsstahl
I	[mm <sup>4</sup> ]	axiales Flächenmoment
i		Anzahl der Zustellungen
K7		Toleranzangabe (Toleranzklasse K; IT 7; Bohrung)

$K_A$		Anwendungsfaktor
$K_t$		Korrekturfaktor
$L$	[mm]	Fadenlänge
LLC		limited liability company (freie Übersetzung: GmbH)
$l_{\text{ü}}$	[mm]	Überlapplänge
$m_6$		Toleranzangabe (Toleranzklasse m; IT 6; Wellen)
$M$	[Nmm]	Biegemoment
$n$	[U/min]	Drehzahl
$p$	[N/mm <sup>2</sup> ]	Flächenpressung
PECVD		plasmaunterstützte CVD
PVD		Physical Vapour Deposition (Physikalisches Abscheiden aus der Gasphase)
$r$	[mm]	Umlenkungsmittelpunkt
$R$	[mm]	Radius
$R_e$	[N/mm <sup>2</sup> ]	Streckgrenze
$R_m$	[N/mm <sup>2</sup> ]	Zugfestigkeit
$RT$	[°C]	Raumtemperatur (ca. 20°C)
$S_D$		dynamische Sicherheit gegen Dauerbruch
$S_F$		statische Sicherheit gegen Fließen
$\text{SiO}_2$		Siliziumoxid
$Sk$		Sicherheitsbeiwert
$t$	[mm]	Tiefe
$T$	[min]	Standzeit
$t_H$	[min]	Bearbeitungszeit
TiCN		Titancarbonitrid
TiN		Titannitrid
$T_{\text{nenn}}$	[Nmm]	Torsionsmoment
$t_s$	[°C]	Schmelztemperatur
$T_t$		Feinheit der Glasfilamente
$v$	[m/min]	Absolutgeschwindigkeit
$V$	[mm <sup>3</sup> ]	Volumen
$v_c$	[m/min]	Schnittgeschwindigkeit
VDI		Verein Deutscher Ingenieure eV.

---

$v_f$	[mm/min]	Vorschubgeschwindigkeit
W	[mm <sup>3</sup> ]	axiales Widerstandsmoment
Wicht.		Wichtung
WZ		Werkzeug
$y_0$	[mm]	Schwerpunktabstand
Z		Schneidenanzahl
$\alpha$	[°]	Umschlingungswinkel
$\delta_S$	[mm/N]	elastische Nachgiebigkeit der Schraube
$\delta_T$	[mm/N]	elastische Nachgiebigkeit des Bauteils
$\varepsilon$	[%]	Dehnung
$\eta$		Minderungsfaktor
$\mu$		Reibungskoeffizient
$\rho$	[mm]	Krümmungsradius der Glasfilamente
$\sigma$	[N/mm <sup>2</sup> ]	Spannung
$\tau$	[N/mm <sup>2</sup> ]	Scherspannung

**Indizes**

0	Ausgang
1	Ende
A	freie Strecke A
aus	auslaufender Faden
B	freie Strecke B
bF	Biegefließgrenze
bGW	Gestaltwechselfestigkeit
Biege	Biegespannung
C	freie Strecke C
ein	einlaufender Faden
Einhäng	Einhängkraft an den Stiftreihen
Fadenspann	Fadenspannkraft am Gelege
Faser	Faserwerkstoff
Glasroving	Glasroving
H	Hauptspannung
i	Stelle i
KB	Klebefläche
LB	Lötfläche
Matrix	Matrixwerkstoff
N	Normalkraft
n	n-mal
oB	oberes Bohrungsmaß
oW	oberes Wellenmaß
Quer	Querkraft
Querschnitt	Querschnitt vom Legereinsatz
reib	Reibung
result	resultierende Kraft in den jeweiligen Richtungen
sp	Spannkraft der Schraube
Spalt	Löt- bzw. Klebspalt
Stift	Stift
uB	unteres Bohrungsmaß
uW	unteres Wellenmaß
V	Vergleichspannung

---

VM	Vormontagekraft
WN	Beigebelastung bei wechselnder Beanspruchung
x	x-Richtung im kartesischen Koordinatensystem
y	y-Richtung im kartesischen Koordinatensystem
z	z-Richtung im kartesischen Koordinatensystem
Zapfen	angedrehter Zapfen
Zug	Zugspannung
zul	zulässiger Wert

Alle hier nicht aufgeführten oder mehrfach verwendeten Bezeichnungen werden an der entsprechenden Stelle im Text erläutert.

## 1 Einleitung und Zielstellung

Diese Diplomarbeit dient zur Erlangung des akademischen Grades „Diplom-Ingenieur (Fachhochschule)“ und wurde für das Unternehmen Karl Mayer MALIMO Textilmaschinenfabrik GmbH, Standort Chemnitz, erstellt.

Seit 1992 besteht die Karl Mayer MALIMO Textilmaschinenfabrik GmbH in Chemnitz als eines der Tochterunternehmen und Niederlassungen von Karl Mayer Textilmaschinenfabrik GmbH mit Stammsitz in Obersthausen. Zum Aufgabenbereich zählen Entwicklung und Produktion von Nähwirk-, Raschel- und Multiaxialmaschinen. Letztere dienen der Herstellung von Multiaxialgelegen (durch ein Maschengebilde fixiertes Flächengebilde), die aus einer oder mehreren parallel gestreckten Fadenlagen (aus Kohlenstoff, Aramid oder Glas) bestehen. Die hergestellten Textilien kommen meist als Verstärkerfasern für Faserverbunde in verschiedenen Bereichen zum Einsatz, beispielsweise im Schiffs- und Fahrzeugbau sowie in der Energietechnik.

Das Ziel dieser Arbeit besteht darin, einen Legereinsatz für Glasrovings so zu konstruieren, dass die Herstellungskosten gesenkt werden und gleichzeitig eine Erhöhung des Standvermögens im Vergleich zu dem bisherigen Legereinsatz erreicht wird.

Dieses Thema ermöglicht Einblicke in den Bereich der Herstellung von technischen Textilien sowie des Aufbaus und der Wirkungsweise von Textilmaschinen. Außerdem verdeutlicht es die Korrelation zwischen den Gebieten der Konstruktion, der Werkstoff-, Beschichtungs- und der Fertigungstechnik.

Die Bearbeitung des Themas beginnt mit einer Zusammenstellung von theoretischen Grundlagen (Kapitel 2). Anschließend werden der derzeitige Stand sowie die Schwachstellen erfasst (Kapitel 3). Anhand dieser Zusammenfassung werden die Aufgabenstellung explizit erläutert und die Rahmenbedingungen festgelegt (Kapitel 4). Daraus ergeben sich die weitere Vorgehensweise zur Lösung dieser Aufgabe (Kapitel 5) sowie die Darstellung von Varianten für die Gestaltung des Legereinsatzes (Kapitel 6) und zur Separierung der Fadenschar (Kapitel 7). Für Festigkeitsberechnungen werden die greifenden Kräfte für die Legereinsatzvarianten ermittelt (Kapitel 8). Aus den Gestaltungsmöglichkeiten gehen zwei Varianten hervor, die anschließend genauer untersucht (Kapitel 9 und Kapitel 10) und zur Ermittlung des optimalen Legereinsatzes



---

gegenüber gestellt werden (Kapitel 11). Abschließend werden die erworbenen Erkenntnisse sowie ein Ausblick für künftige Projekte aufgezeigt (Kapitel 12).

## 2 Theoretische Grundlagen

### 2.1 Glasfaserverbund

#### 2.1.1 Glasroving

Das Glasroving ist ein Faserbündel aus gestreckten und unverdrehten Glasfilamenten (Fasern). Die Bezeichnung der Rovings erfolgt anhand ihrer Filamentenanzahl oder des Flächengewichtes.

Glasfilamente wurden schon im 18. Jahrhundert von Glasbläsern aus dem Thüringer Wald hergestellt und dienten damals nur zu Dekorationszwecken (sog. Feen- oder Elfenhaar). Heute wird das Glasroving auch in unterschiedlichen technischen Bereichen verwendet, wie beispielsweise in der Informationstechnologie, der Luft- und Raumfahrt und als Verstärkungsfasern des Verbundwerkstoffes.

Die Herstellung dieser Filamente wird durch das Düsenziehverfahren (Abbildung 1) oder das Düsenblaßverfahren (Abbildung 2) realisiert.

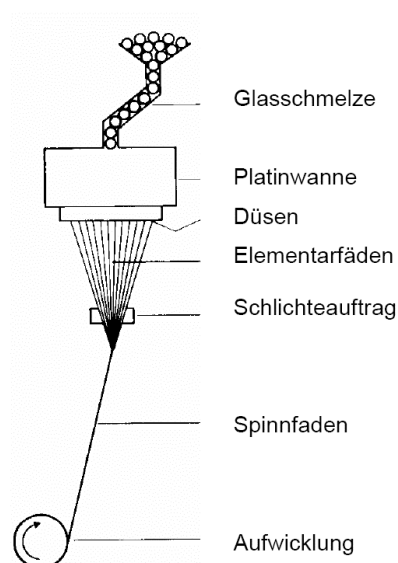


Abbildung 1: Schema des Düsenziehverfahrens /Int. 13/

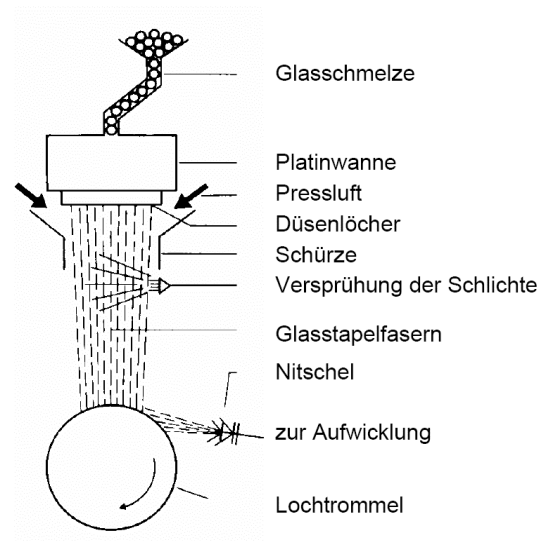


Abbildung 2: Schema des Düsenblasverfahrens/Int. 13/

Um alle Gase sowie die Rohstofffeuchte aus der Glasschmelze zu entfernen und somit die geforderten Eigenschaften des Glaswerkstoffes zu erzielen, werden vor Beginn des Schmelzens verschiedene Oxide zusammengestellt und auf eine Temperatur von 800 bis 1000°C gebracht. Die anschließende Läuterung und Homogenisierung erfolgt in einem Temperaturbereich von 1200 bis 1500°C. Die Glasschmelze kann nun durch die Düsen ausgezogen werden, wodurch es zu einer Abkühlung auf die Verarbeitungstemperatur (1200 bis 900°C) kommt.

Bei dem Düsenziehverfahren werden die Fasern mit mechanischen Kräften, bei dem Blasverfahren mit Pressluft aus dem Wannenboden heraus gebracht. Unterscheidungsmerkmal ist lediglich Faserlänge, die beim Düsenziehverfahren endlos und beim Düsenblasverfahren endlich ist.

Die endlosen Fasern werden zu Rovings (parallele Filamente) oder zu Garnen (verdrillte Filamente) geformt und nach auf Aufbringung einer Schlichte aufgewickelt. Die Schlichte sorgt für eine Verbesserung der Benetzung und eine optimale Durchtränkung mit dem Matrixwerkstoff. Für hochbeanspruchte Bauteile werden gefinishte, für weniger beanspruchte Teile die preiswerteren geschlichteten (mit Silanverbindungen) Fasern eingesetzt. Silane sind chemische Verbindungen mit einem Siliziumgrundgerüst und Wasserstoff /3; Seite 5/.

Der Glasfaserwerkstoff überzeugt durch verschiedene positive Eigenschaften /Int. 5/:

- hydrophob (keine Veränderung der physikalischen und chemischen Eigenschaften bei Kontakt mit Wasser),
- unbrennbar,
- tiefer Wärmeausdehnungskoeffizient,
- gute elektrische Isoliereigenschaften,
- dimensionsstabil (keine Formänderung nach dem Einsatz bei tieferen und höheren Temperaturen),
- hohes Festigkeits-/Gewichtverhältnis (hohe Festigkeit bei minimalem Gewicht),
- hohe Chemikalienbeständigkeit.

Die Festigkeit der Glasfilamente basiert auf der starken kovalenten Bindung zwischen Silizium und Sauerstoff ( $\text{SiO}_2$ ). Metalloxide, die noch zugeführt werden, brechen die Ketten auf und verhindern die Ausbildung einer Ordnung. Aufgrund seiner amorphen Struktur besitzt dieser Werkstoff isotrope Eigenschaften.

Der Einsatz als Verstärkungsfasern in unterschiedlichen Gebieten erfordert entsprechende Arten von Glasfilamenten (Tabelle 1) /Int. 16/.

Tabelle 1: Auswahl der Arten von Verstärkungsfasern

Glasfilament	Merkmal
AR-Glas (AR = Alkaline Resistent)	gegenüber einer basischen Umgebung resistent
C-Glas (C = Corrosion)	chemikalienbeständig
E-Glas (E = Electric)	Standardfaser (90% des Marktes)
S-Glas (S = Strength)	erhöhte Festigkeit
M-Glas (M = Modulus)	erhöhte Steifigkeit

Als Verstärkungsfasern in einem Glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK) überwiegt deutlich der E-Glastyp.

### 2.1.2 Aufbau und Eigenschaften des Glasfaserverbundes

Der Faserverbundwerkstoff ist kein homogener Werkstoff, da er sich aus mindestens zwei Hauptbestandteilen zusammensetzt. Zum einen ist es die Faser, die die Festigkeit und die Zähigkeit aufbringt, und zum anderen die verbindende Matrix.

Die Grundlage für die Erklärung des Fasereinsatzes bietet das Faserparadoxon von GRIFFITH (1921) /Int. 1; Seite 29/:

*„Material in Faserform hat eine viel höhere Festigkeit als in kompakter Form, und zwar umso höher, je dünner die Fasern sind.“*

Die Zugfestigkeit steigt mit abnehmender Faserdicke, da gleichzeitig die Defektdichte zunimmt /Int. 1; Seite 31/. Das ist auch der Grund dafür, dass es beim Zugversuch zu einer vernachlässigbar kleinen plastischen Verformung kommt, die typischerweise in einem schlagartigen Bruch endet. Diese Eigenschaft bezieht sich allerdings nur auf die Zugbeanspruchung, denn bei Druck- bzw. Schubbelastung würde die Faser durch das Längen-/Durchmesserverhältnis ausknicken bzw. ausweichen. Um dies zu vermindern, wird die Faser in eine Matrix eingebettet, wobei zu berücksichtigen ist, dass die Festigkeitswerte nur in Faserrichtung gelten. Ist die hochfeste und relativ steife Faser jedoch in eine weiche und nachgiebige Matrix eingefasst, so kann es auch zu einer verstärkten Wirkung kommen.

Folglich ist es unerlässlich, dass zwischen Matrix und Faser eine einwandfreie Haftung besteht und somit die Verformung gleich groß und rein elastisch ist. Des Weiteren muss die Faser endlos und in Belastungsrichtung ausgerichtet sein.

Zur Abschätzung der Verbundfestigkeit ( $R_{m,V}$ ) existiert die folgende Mischungsregel:

$$R_{m,V} = \eta * (R_{m,Faser} * V_{Faser} + R_{m,Matrix} * (1 - V_{Faser})) \quad /4; \text{ Seite 404/}$$

Der Minderungsfaktor  $\eta$  (zwischen 0,5 und 1,0) wurde eingeführt, weil praktisch nicht die gesamte Faserlänge im Eingriff ist. In der Praxis wird diese errechnete Verbundfestigkeit allerdings nie erreicht /4; Seite 404/.

Da Bauteile in unterschiedlichen Raumrichtungen beansprucht werden, wird daher die Verstärkungsfaser in verschiedenen beanspruchungsgerechter Richtungen gelegt.

Der Glasfasertyp E-Glas wird dabei am häufigsten als Verstärkerfaser eingesetzt, obwohl diese eine geringere Festigkeit als die R- und S-Glasfaser besitzt. Entscheidend für die Auswahl der E-Glasfaser ist der Preis und die Tatsache, dass nur diese für die meisten textilen Halbzeuge verfügbar ist /Int. 2/.

Als Matrixwerkstoff kommt meist ein Polymere (Polyesterharze, Epoxidharze oder Vinylharze) zur Anwendung, um die benötigte Steifigkeit zu erzielen.

## 2.2 Glasfasergelege

Ein Glasfasergelege (Abbildung 3) ist ein nichtgewebtes textiles Halbzeug, dessen Fasern endlos und parallel nebeneinander liegen. Dabei unterscheidet man zwischen unidirektionaler (eine Lage), bidirektionalen (zwei Lagen), tri- (drei Lagen) und quadraxialen (vier Lagen) Gelegen.

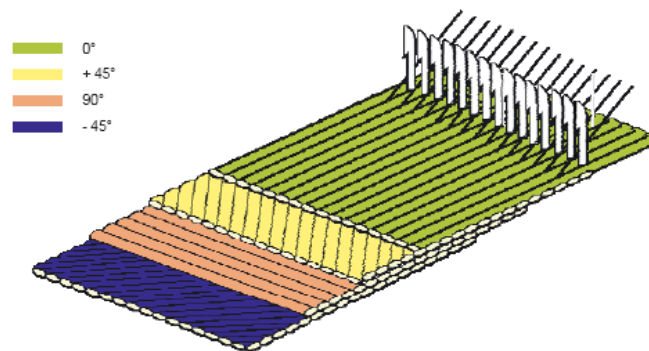


Abbildung 3: Multiaxiales Gelege /Int. 5/

Durch die in verschiedenen Winkeln übereinander gelegten Faserlagen können Textilien mit einer belastungsgerechten Faserorientierung hergestellt werden, die anschließend flächendeckend miteinander vernäht werden.

Das multiaxiale Glasfasergelege zeichnet sich im Vergleich zu einem herkömmlichen Gewebe durch folgende Vorteile aus /Int. 3/:

- höhere Festigkeitswerte, da die Fasern nicht verschlungen werden, sondern gestreckt sind,
- Schneidestabilität,
- bessere Drapierbarkeit,
- gute Tränkbarkeit und damit geringerer Harzverbrauch.

## 2.3 Herstellung des Geleges

### 2.3.1 Multiaxialmaschine

Die Multiaxialmaschine (Abbildung 4) dient der Herstellung von Glasfasergelegen.

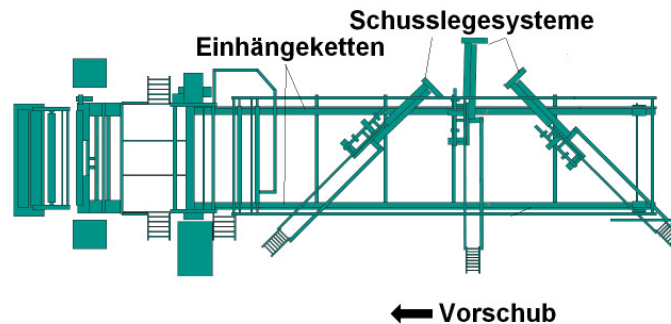


Abbildung 4: Anlagenprinzip der Multiaxialmaschine /Int. 15/

Diese Anlage ist eine High-Tech-Wirkmaschine mit parallelem Schusseintrag sowie drei variablen Schusslegesystemen. An diesen Schusslegesystemen ist ein Kompensations-Fadenspeicher angebracht, um den kontinuierlichen Abzug und die Spannung der Schussfäden zu gewährleisten.

Der Vorschub des Geleges wird mittels Einhängeketten realisiert, die jeweils auf einer Seite der Anlage angebracht sind. An dieser Kette befinden sich zwei Stiftreihen zum Einhängen der Fadenschar.

An der Nähwirkmaschine werden zur besseren Handhabung des Geleges die einzelnen Schichten über die gesamte Gelegebreite miteinander vernäht. Dieser Prozess wird realisiert, indem Schiebernadeln (Hakennadeln) eine Halbmasche aufschieben bzw. vergrößern und gleichzeitig das Gelege vertikal durchstechen. Ein Fadenführer bewegt sich pendelnd zwischen den Schiebernadeln und legt um diese den Wirkfaden. Beim anschließenden Zurückfahren der Nadeln wird der Wirkfaden durch das Gelege und die Halbmasche gezogen, wodurch eine Masche entsteht /16; Seite 62 - 67/.

Es folgt der nächste Prozessschritt, bei welchem das Textilgelege auf die vorgesehene Breite zugeschnitten und anschließend aufgewickelt wird.

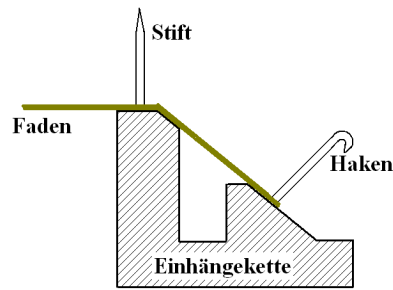
### 2.3.2 Legeprinzip der Multiaxialmaschine

Die Fadenschar (aus Glasrovings) aus dem Spulengatter wird in pendelnder Bewegung über das Gelegefeld gelegt und dabei in Einhängeketten in verschiedene Winkel

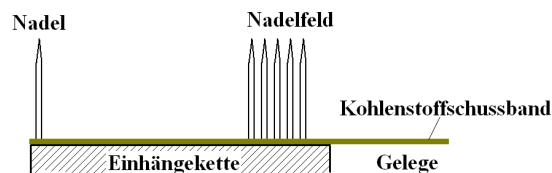
umgelenkt, um die gewünschte Faserorientierung zu erzielen. Karl Mayer MALIMO verwendet zum Einhängen der Fadenschar drei verschiedene Technologien bzw. Varianten (Abbildung 5) /14; Seite 263/:

- Stift-Haken-Variante (Einsatz vorwiegend für Glasrovings und Kohlenstofffasern mit Flächenmassen ab 190 g/m<sup>2</sup> eingesetzt),
- Nadelfeld-Variante (Einsatz für Kohlenstofffasern mit Flächenmassen unter 150 g/m<sup>2</sup>, wobei endliche Kohlenstoffschussbänder über die Nadelfelder gelegt werden),
- Stift-Stift-Variante (basiert auf der Stift-Haken-Variante; wird derzeit verwendet).

1



2



3

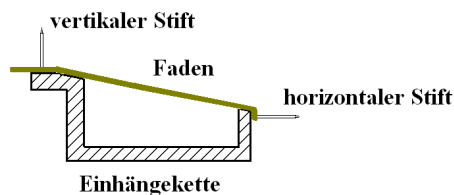


Abbildung 5: Einhängen der Fadenschar, 1: Stift-Haken, 2: Nadelfeld, 3: Stift-Stift

Im Legeprozess wird die Fadenschar am Legereinsatz geführt, der sich in Richtung der Einhängekette bewegt und absenkt, wenn beide Stiftreihen passiert wurden (Abbildung 6).



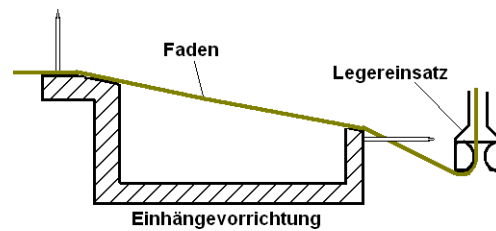


Abbildung 6: Prinzip des Einhängens

Der Legereinsatz bewegt sich nun entgegen der Vorschubrichtung und platziert die Faserschar um die horizontale Stiftreihe (Abbildung 7).

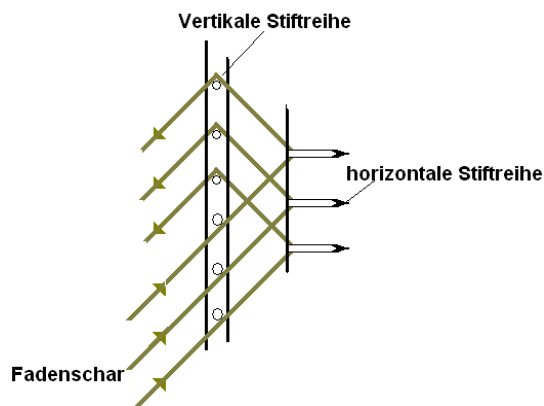


Abbildung 7: Prinzip der Umlenkung

Um den nächsten Schuss zu realisieren, muss der Legereinsatz nach oben fahren und die Fadenschar um die vertikale Stiftreihe legen.

Anschließend verfährt das Schusslegesystem über die gesamte Breite der Multiaxialmaschine zur gegenüberliegenden Eihängekette. Der Legeprozess kann in zwei Varianten durchgeführt werden. Bei der ersten Variante wird die Fadenschar gleichmäßig, bei der anderen Variante einseitig auf den Legereinsatz verteilt. Ist die Fadenschar einseitig verteilt werden diese nebeneinander gelegt. Bei einer gleichmäßigen Verteilung überlappt die Fadenschar die Vorherige, um einen bestimmten Prozentsatz, wodurch ein gleichmäßiges Gelegebild erzielt wird.

Der Legereinsatz wird von Karl Mayer MALIMO wird in verschiedenen Längen (8“, 12“, 14“) und Feinheiten (1,5 bis 21 E) angeboten (Anhang I).

Der Begriff der Feinheit definiert sich über die Anzahl der Teilungen auf einem Zoll Länge (25,4 mm), wobei mit steigender Anzahl der Teilungen die Feinheit zunimmt.

Dadurch können Gelege mit unterschiedlichen Flächenmassen (umgangssprachlich Flächengewichte) hergestellt werden.

## **2.4 Belastbarkeit von Glasfilamenten**

### **2.4.1 Reibbelastung**

An den fadenführenden Elementen und den Filamenten kommt es auf Grund einer Relativbewegung zu Reibbeanspruchung. Die bei der Herstellung auf die Glasfilamente aufgetragene Schlichte mindert diese Beanspruchung. Das Reibverhalten kann ähnlich der Flüssigkeitsreibung beschrieben werden. Da das Glasroving meist schwach oder gar nicht verdreht ist, reicht oft schon eine geringe Kraft aus, um die Querschnittsform zu verändern. Dabei wird der Faden gewalkt, was zu einer zusätzlichen Erhöhung der Fadenkraft führt. Zudem ist die Fadenkraft von der Normalkraft, der Kontaktfläche, der Schichtdicke und der Zähigkeit der Schlichte sowie von der Relativgeschwindigkeit abhängig. Daher ist es sinnvoll das Reibverhalten unter praxisnahen Bedingungen zu ermitteln.

Im Zuge einer wissenschaftlichen Untersuchung /1; Seite 15 - 36/ über die Pressungsbelastung von Glasfilamenten aus E-Glas im Webprozess wurde ein Reibwert zwischen Stahl und Glasfilamenten ermittelt. Dabei wurden verschiedene Glasfilamentdurchmesser (9  $\mu\text{m}$ , 13  $\mu\text{m}$ , 17  $\mu\text{m}$ ), Schlichten und Kräfte untersucht. Im Ergebnis wurde ein konstanter Anstieg von 0,2589 zwischen der Reibkraft und deren Normalkraft bei einer Relativgeschwindigkeit von 10 mm/min ermittelt. In /Int. 4/ wird ein Reibungskoeffizient zwischen Stahl und Glas von 0,2 bis 0,3 angegeben.

Für die Vorauslegung des Legereinsatzes wird von einem Reibungskoeffizient von 0,3 ausgegangen.

### **2.4.2 Fadendynamik**

Für die Berechnung von Reibkräften spielt die Fadendynamik an den Umlenkstellen eine wichtige Rolle.

Den Fadenverlauf an Textilmaschinen kann man in freie Strecken und Umlenkungen untergliedern. Ein unbelasteter Faden besitzt eine Grundfeinheit  $Tt_0$ . Wird der Faden gedehnt, verringert sich seine Feinheit auf einen Wert  $Tt$ . Dies wird als Dehnung ( $\varepsilon$ ) des Fadens bezeichnet /2; Seite 139 - 142/.

$$\varepsilon = \frac{l - Tt}{Tt_0} \quad /2; \text{ Seite 140/}$$

Die Geschwindigkeit  $\dot{\varepsilon}$ , mit der sich die Dehnung vollzieht, kann mit folgender Beziehung ausgedrückt werden:

$$\dot{\varepsilon} = \frac{\dot{T}t}{Tt_0} \quad /2; \text{ Seite 140/}$$

Die Fadenkraft ist von der Dehnung und deren Geschwindigkeit abhängig. Diese kann berechnet werden, wenn  $Tt$  und die zeitliche Änderung des Fadens bekannt sind. Wird der Faden nun weiter in den freien Strecken als ein strömendes Medium über eine Fadenlänge  $L$  betrachtet, so können Bilanzgleichungen analog der Strömungsmechanik aufgestellt werden.

Die Bilanzgleichung für Masse und Impuls in den freien Strecken setzt voraus, dass die Fadenlängskraft konstant ist. Fügt man die Absolutgeschwindigkeiten  $v_{\text{ein}}$  und  $v_{\text{aus}}$  hinzu, ergibt sich die nachstehende Massenbilanz:

$$L * \dot{T}t = Tt(v_{\text{ein}} - v_{\text{aus}}) \quad /2; \text{ Seite 140/}$$

An der Umlenkstelle muss die Bilanzgleichung für Masse und Impuls erfüllt sein, wobei die Relativgeschwindigkeiten entscheidend sind (Abbildung 8).

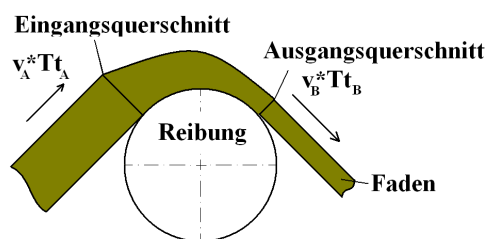


Abbildung 8: Fadenfluss um eine Umlenkung mit Reibung

Zur Berechnung der Massenbilanz kommt folgende Beziehung zum Tragen:

$$0 = Tt_A(v_A - e_{TA}^T \dot{r}) - Tt_B(v_B - e_{TB}^T \dot{r}) \quad /2; \text{ Seite 141/}$$

Dies setzt voraus, dass der Umlenkmittelpunkt  $r$  sich mit einer Geschwindigkeit  $\dot{r}$  bewegt, wobei die Einheitsvektoren  $e_{TA}$  und  $e_{TB}$  die Richtung des Fadens angeben. Die Kraft für die Impulsumlenkung des Fadens kann vernachlässigt werden.

Der Bewegungsvorgang eines Fadens über eine Umlenkung ist trägheitsbehaftet (Abbildung 9). Damit können Haft-Gleit-Vorgänge und die dynamische Kraftänderung beschreiben werden. Die Geschwindigkeit über die Strecke A mit der Länge  $L_A$  wird mit  $v_{A1}$  (Anfang) und  $v_{A2}$  (Ende) bezeichnet. Die Strecke B ist analog dazu .

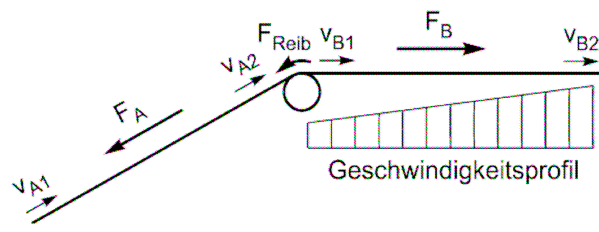


Abbildung 9: Geschwindigkeitsansatz für freie Strecken /2; Seite 140/

Damit ergibt sich folgende Bewegungsgleichung mit den Fadenkräften  $F_A$  und  $F_B$  sowie die Reibkraft  $F_{reib}$ .

$$F_B - F_A - F_{reib} = L_A T t_A \left( \frac{1}{6} \dot{v}_{A1} + \frac{1}{3} \dot{v}_{A2} \right) + L_B T t_B \left( \frac{1}{3} \dot{v}_{B1} + \frac{1}{6} \dot{v}_{B2} \right) \quad /2; \text{Seite 142/}$$

Die Umschlingungsreibung basiert auf der „Euler-Eytelwein-Formel“, wobei der Reibkoeffizient  $\mu$  unter Berücksichtigung des Umschlingungswinkels  $\alpha$  geschwindigkeitsabhängig ist (Abbildung 10).

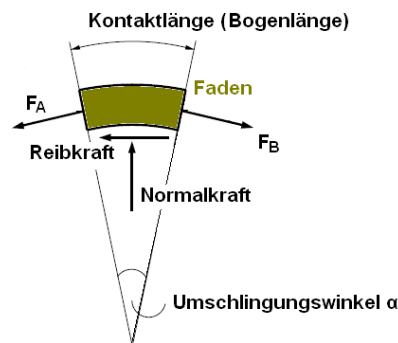


Abbildung 10: Skizze der Kraftverteilung

$$\frac{F_B}{F_A} = e^{(\mu(v) \cdot \alpha)} \quad /2; \text{Seite 142/}$$

e...Euler'sche Zahl = 2,718

$$F_{reib} = F_B - F_A \quad /2; \text{Seite 142/}$$

$$F_{reib} = F_B * (e^{(\mu(v)^*\alpha)} - 1) \quad /2; \text{ Seite 142/}$$

Da die Kräfte  $F_A$  und  $F_B$  sowie die Geschwindigkeit  $v$  in einem zeitlichen System unterschiedliche Werte annehmen können, wird für die Berechnung der Reibkraft in der Praxis die nachstehende Gleichung verwendet:

$$F_{reib} = (e^{\mu(v)\alpha} - 1) \frac{L_A F_B + L_B F_A}{L_A e^{\mu(v)\alpha} + L_B} \quad /2; \text{ Seite 142/}$$

Für die Berechnung der Bauteile ist neben der Reibkraft auch deren Normalkraft notwendig. Diese steht stets senkrecht zur Reibkraft.

### 2.4.3 Biegebelastung von Glasfilamenten

Die Umlenkung eines Glasfilamentes ist immer mit dessen Krümmung verbunden. An dieser erfährt das Glasfilament eine Zug-, Schub- und Biegebeanspruchung. Die Zugspannung  $\sigma_{Zug}$  errechnet sich nach den Gesetzen der technischen Mechanik, wobei die Kraft  $F$  eine Längskraft und die Fläche  $A_{Glasfilament}$  die Querschnittsfläche des Glasfilamentes ist /1; Seite 18 - 21/.

$$\sigma_{Zug} = \frac{F}{A_{Glasfilament}} \quad /1; \text{ Seite 18/}$$

Die Schubspannung  $\tau$  ergibt sich aus der folgenden Gleichung:

$$\tau = \frac{8\sqrt{2} * F_{Quer} * \left( \left( \frac{d_{Glasfilament}}{2} \right)^2 y^2 \right)}{3 * \pi * \left( \frac{d_{Glasfilament}}{2} \right)^4} \quad /1; \text{ Seite 19/}$$

Die Biegespannung  $\sigma_{Biege}$  errechnet sich nach folgender Gleichung:

$$\sigma_{Biege} = \frac{M_{Biege}}{\frac{\pi}{4} \left( \frac{d_{Glasfilament}}{2} \right)^4} * y = \frac{E * y}{\rho} \quad /1; \text{ Seite 20/}$$

Bei diesem spröden Werkstoff ist im Versagungsfall der Trennbruch senkrecht zur Hauptzugspannung ( $\sigma_H$ ). Deshalb kann zur Berechnung diese als Vergleichspannung ( $\sigma_V$ ) angenommen werden. Für einen einachsigen Spannungszustand gilt:

$$\sigma_V = \sigma_H = \frac{\sigma}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + \tau^2} \quad /1; \text{ Seite 20/}$$

Nach dieser Gleichung können jeder Stelle des Filamentes zwei Vergleichspannungen zugeordnet werden. Für die Berechnung wird der größte Betrag angenommen. Die höchsten Hauptspannungen treten in der Randzone der Faser auf, da das Glasfilament auf Zugbeanspruchung empfindlicher als auf Druckbelastung reagiert. Folglich ist mit einem Versagen in der Zugzone zu rechnen.

Bei kleinen Oberflächenradien liegt nur ein punktförmiger Kontakt vor. Somit erfährt das Filament eine freie Krümmung, für die folgende Berechnungsvorschrift gilt:

$$\rho_i = \frac{\frac{\pi}{4} * \left(\frac{d_{\text{Glasfilament}}}{2}\right)^4 * E}{F_{\text{Zug}} * l_i} \quad /1; \text{ Seite 21/}$$

$\rho_i$ ...Krümmungsradius an der Stelle i

$l$ ...Hebelarmlänge

Keine freie Krümmung liegt vor, wenn der Glasfilamentradius dem Oberflächenradius der Kontur entspricht. An dieser Stelle besteht wie beim Legereinsatz ein linienförmiger Kontakt. Die entstehende Biegespannung wird folgendermaßen errechnet:

$$\sigma_{\text{Biege}} = \frac{E}{\rho} * \frac{d_{\text{Glasfilament}}}{2} \quad /1; \text{ Seite 21/}$$

## 2.5 Tribologie

Der Begriff der „Tribologie“ stammt aus dem Bereich der Verschleiß-Reibung-Schmierung und unterteilt sich in vier Hauptverschleißmechanismen /8; Seite 370/.

Der Adhäsionsverschleiß (Erscheinungsform: Materialübertragung, Fresserscheinung) entsteht durch Mikroverschweißungen, die sich in der Kontaktstelle infolge der Normalkraft bilden. Die anschließende Relativbewegung schert die Verschweißungen ab. Um den Verschleiß durch Adhäsion zu vermindern, kann ein Schmierfilm

aufgebracht werden. Dieser darf jedoch auch nicht durch Überbeanspruchung durchbrechen. Des Weiteren sollte die Paarung Metall/Metall umgangen und stattdessen auf die Paarung Kunststoff/Metall bzw. Kunststoff/Kunststoff zurückgegriffen werden. Da sich in der Praxis metallische Paarungen jedoch nicht vermeiden lassen, sind kubisch-raumzentrale und hexagonale Metalle (z.B. Eisen, Chrom, Titan) mit einem heterogenen Gefüge gegenüber kubisch-flächenzentralen Metallen (Kupfer/Blei, Kupfer/Silber, Kupfer/Gold) zu bevorzugen.

Der Verschleiß durch Abrasion (Erscheinungsform: Riefen, Kratzer) ist die Folge des Furchens von Rauheitsspitzen eines härteren Körpers in einen weicheren Körper. Dadurch kommt es zu Mikrozerspannung. Dies kann durch gezielte Werkstoffkombinationen vermieden werden, indem der beanspruchte Körper härter als das angreifende Material ist.

Die Oberflächenermüdung (Erscheinungsform: Risse, Grübchen) hat eine zyklische Oberflächenbeanspruchung, beispielsweise durch sich wiederholende Hertz'schen Pressung, als Ursache. An diesen Bereichen wird die Dauerfestigkeit überschritten und es entstehen Ermüdungsrisse, die einzelne Werkstoffteilchen herausbrechen lassen. Durch den Einsatz von Werkstoffen mit einer hohen Härte und Zähigkeit sowie das Einbringen von Druckeigenspannung in die Oberfläche kann diese Art der Verschleißform unterbunden werden.

Die Tribooxidation (Erscheinungsform: Reibkorrosion) resultiert aus der chemischen Reaktion der Reibpartner miteinander. Die Beeinflussung der tribochemischen Reaktionen wird durch die Verwendung von Edelstählen, Kunststoffen und Keramiken verhindert. In der Praxis überlagern sich meist diese Verschleißformen.

### 3 Derzeitiger Legereinsatz

Der derzeitig verwendete Legereinsatz an der Multiaxialmaschine für Glasrovings ist ein Bauteil, das aus zwei Rundstäben (16MnCr5) und einer Vielzahl von Stiften (C80W1) besteht.

Die Rundstäbe werden bei der Fertigung auf die gewünschten Abmessungen gedreht, anschließend paarweise in eine Fräsvorrichtung gespannt und mittels Kreissägeblatt die Nuten für die Stifte eingebracht. Da das Kreissägeblatt eine Breite von 1 mm hat, muss zweistufig gefräst werden, um die geforderte Nutbreite von 1,1 mm zu erreichen. Die Befestigung der Stifte mit den Rundstäben wird mit Hilfe des Laserschweißverfahrens durchgeführt. Der Kooperationspartner für diese Aufgabe ist das Unternehmen LASERVORM GmbH (Altmittweida). Als zusätzliche Befestigung wird auf jede Seite des Legereinsatzes eine Brücke eingeschweißt. Um die Verschleißerscheinungen zu verhindern, wurde die Oberfläche durch Plasmanitrieren gehärtet.

In den folgenden drei Abbildungen (Abbildung 11, Abbildung 12, Abbildung 13) ist ein 8“-Legereinsatz mit einer Feinheit von 12 E abgebildet.

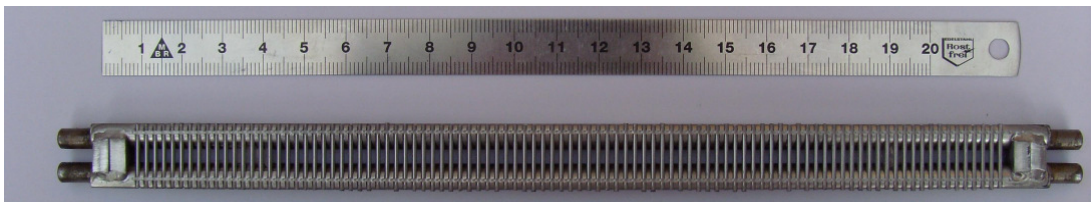


Abbildung 11: 8“-Legereinsatz (Draufsicht)

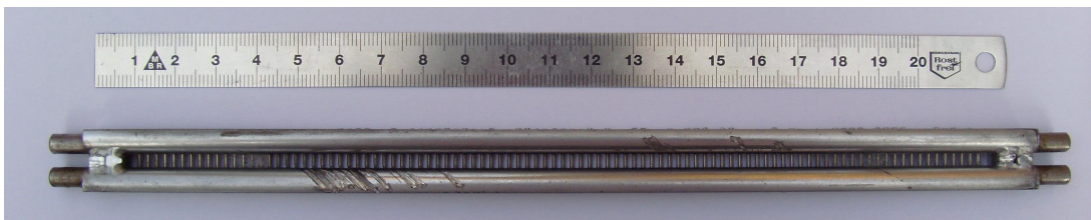


Abbildung 12: 8“-Legereinsatz (Ansicht von unten)



Abbildung 13: 8“-Legereinsatz (Seitenansicht)



Das Problem besteht darin, dass die Glasrovings bei der Umlenkung einen starken abrasiven Verschleiß an der Umlenkstelle sowie an den Stiften hervorrufen. In Abbildung 14 ist diese Verschleißerscheinung deutlich erkennbar. Allerdings tritt diese Erscheinung nicht an jeder Kontaktstelle zwischen Glasroving und Legereinsatz auf.

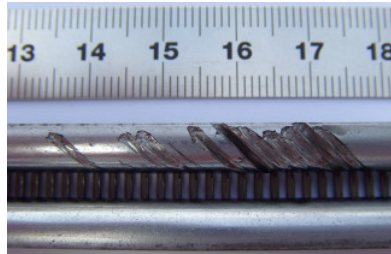


Abbildung 14: 8"-Legereinsatz mit Verschleißerscheinung

Ein weiteres Problem ist der Bruch des Legereinsatz im Legeprozess (Abbildung 15). Die Bruchstellen befinden sich nicht an den Nahtstellen sondern in deren Wärmeeinflusszonen.

Der Bruch (Abbildung 15) entstand bei einem Kunden (Ahlstrom Glass Nonwovens LLC, USA) im laufenden Betrieb des Legeprozesses.

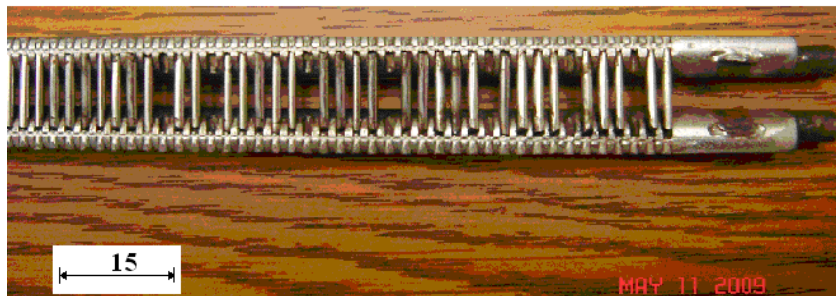


Abbildung 15: Zerbrochener Legereinsatz

Da das Rundmaterial (Umlenkung) aus 16MnCr5 und die Stifte aus C80W1 bestehen, liegt es nahe, dass es vermutlich in der Wärmeeinflusszone zur Bildung von Martensit kam, das auf Grund seiner Eigenschaften das Versagen des Bauteils hervorgerufen hat.

Karl Mayer MALIMO hat im Vorfeld verschiedene Versuche durchgeführt. Einer dieser Versuche befasste sich mit der Fadenkraftmessung an der Nähwirkmaschine Multiaxial 14024 (Dipl.-Ing. K. Butter, Dipl.-Ing. M. Haase, 2001). Dabei wurden sowohl die Fadenspannung an der Einhängekette (am Gelege) als auch die Eingangsfadenspannung vor dem Leger gemessen. Im Zuge der Versuchsauswertung wurde festgestellt, dass die Fadenspannung unmittelbar nach dem Einlegen in die

Einhängekette am größten ist. Dieser Versuch dient als Richtlinie für die Kraftaufteilung zur Konstruktion des Legereinsatzes.

Für eine Unterbindung der Verschleißerscheinung wurde im Vorfeld ein 6“-Legereinsatz mit verschleißfesten Materialien hergestellt (Abbildung 16 und Abbildung 17). Dabei wurden Keramikstäbe als verschleißfeste Materialien in Nuten eingeklebt (Abbildung 18).

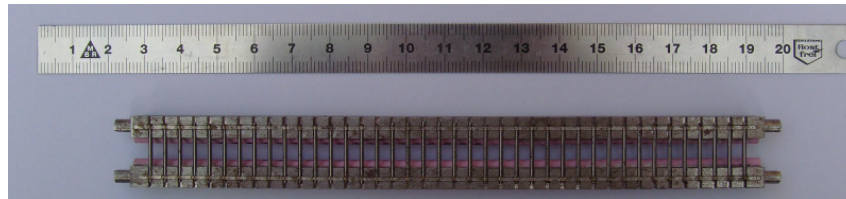


Abbildung 16: 6"-Legereinsatz mit Keramikstäben (Draufsicht)

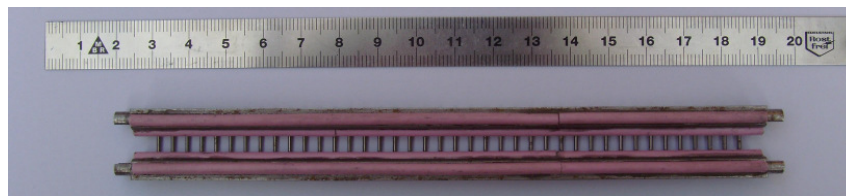


Abbildung 17: 6"-Legereinsatz mit Keramikstäben (Ansicht von unten)

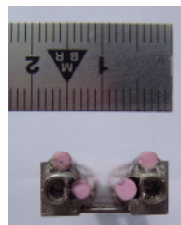


Abbildung 18: 6"-Legereinsatz mit eingeklebten Keramikstäben (Seitenansicht)

Aus dieser Bauweise resultiert ein zu breiter Legereinsatz. Außerdem sind die keramischen Stäbe nicht in der erforderlichen Länge erhältlich. Aus diesem Grund wurden die Stäbe mittels Stumpfstoß in der Nut befestigt. Da das Glasroving jedoch in der Stoßstelle hängen bleiben kann, kam dieser Legereinsatz nie zur Anwendung.

Eine andere Möglichkeit ist die Beschichtung zweier 8“-Legereinsätze, zum einen mit TiN, zum anderen mit TiCN. Die Beschichtungen wurden vom Kooperationspartner Ionbond Sachsen (Hohenstein-Ernstthal) mittels PVC-Verfahren durchgeführt. Die Kosten pro Legereinsatz beliefen sich auf ca. 10 €.

Bisher kamen diese Legereinsätze jedoch noch nicht zum Einsatz. Um praxisnahe Beurteilungen treffen zu können, erfolgt die Erprobung direkt beim Kunden.

## 4 Präzisieren der Aufgabenstellung

Unter dem Aspekt der Wirtschaftlichkeit sollen konstruktive Möglichkeiten der Neugestaltung eines Legereinsatzes für Glasrovings an Multiaxialmaschinen betrachtet werden. Durch Variantenvergleich soll der optimale Legereinsatz in Bezug auf Kostenreduzierung und Standvermögen ermittelt werden.

Für den optimalen Legereinsatz sollen die folgenden Merkmale gelten:

- ausreichend kleine Abmessungen, um den ordnungsgemäßen Legeprozess auf der Multiaxialmaschine zu garantieren,
- genügend große Oberflächenhärte,
- günstiger Reibwert.

Zudem wurden die nachstehenden Rahmenbedingungen festgelegt:

- Fadenkraft: 10 N,
- maximale Anzahl das Glasrovings: 100,
- maximale Legereinsatzbreite: 15 mm,
- Stufung der Legereinsatzlänge: 8“, 12“, 14“ mit unterschiedlichen Feinheiten (übliche Feinheiten: zwischen 7 und 12) (Anhang I),
- Oberflächenhärte: > 1200 HV,
- Gelegebreite: 102“,
- Standvermögen: 45000 m bei 6,22 m/min hergestellten Gelege (entspricht 64000 m Glasroving am Legereinsatz),
- Standbedingung: Raumtemperatur, Herstellung eines Geleges mit Glasroving,
- Standkriterium: Verschleißerscheinung (Riefen),
- kostenoptimale Herstellung,
- geringer Montageaufwand.

Die Erprobung der Legereinsätze wird direkt beim Kunden durchgeführt, so dass auf einen betriebsinternen Versuchsaufbau verzichtet werden kann.

## 5 Vorgehensweise zur Lösungsfindung

Ein einheitlicher Lösungsalgorithmus existiert nicht. Der Verein Deutscher Ingenieure (VDI) bietet als VDI-Richtlinie 2221 einen recht guten Ablaufplan an.

	<b>Aufgabe</b>
<b>1.</b>	Klären und Präzisieren der Aufgabenstellung
<b>2.</b>	Ermitteln der Funktionen und Strukturen
<b>3.</b>	Lösungsvarianten erarbeiten
<b>4.</b>	Aufteilung in realisierbare Module
<b>5.</b>	Gestalten der maßgeblichen Module
<b>6.</b>	Gestalten des gesamten Produktes
<b>7.</b>	Ausarbeiten der Ausführungs- und Nutzangaben
	<b>konstruktive Lösung</b>

Da dieser Ablaufplan die Möglichkeit vorsieht bestimmte Abschnitte zu überspringen oder auf diese gegebenenfalls zurückzugreifen, lässt diese Art der Vorgehensweise zur Lösungsfindung jederzeit die Kontrolle des momentanen Bearbeitungsstandes zu.

## 6 Ermittlung von Lösungsansätzen

Im Folgenden werden die beiden Funktionen des Legereinsatzes, Fadenumlenkung und Fadenseparierung, näher betrachtet. Das führt zu verschiedenen Varianten, die wiederum eine Verknüpfung zwischen diesen Funktionen bilden. Letztlich erfolgt die Gegenüberstellung der Varianten.

### 6.1 Fadenumlenkung

Der Legereinsatz bringt die vertikal ankommende Fadenschar in eine horizontale Lage, wobei die Biegebelastung auf die Fadenschar gering gehalten werden sollte.

An die Umlenkstelle werden verschiedene Anforderungen gestellt (z.B. niedriger Reibwert, hohe Verschleißfestigkeit).

#### Variante 1

Die Umlenkung des Fadens erfolgt über einen sich nicht drehenden Zylinder mit dem Radius  $r$  (Abbildung 19).

Durch die relative Bewegung des Fadens zur Zylinderoberfläche entsteht eine hohe Reibungsbelastung. Da ein Teil des Zylinders nicht genutzt wird, dieser jedoch Platz beansprucht, kann der nicht unter Benutzung stehende Bereich des Zylinders entfernt werden. Infolge dessen wird dem Problem des Platzbedarfes entgegengewirkt.

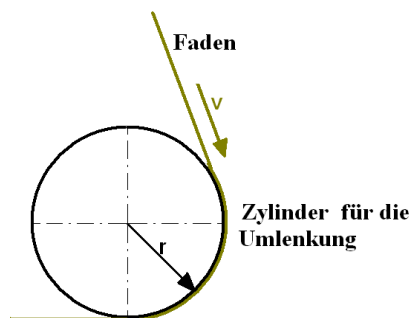


Abbildung 19: Umlenkung des Fadens um einen Zylinder

#### Variante 2

Diese Variante (Abbildung 20) beruht auf dem Prinzip einer Seilrolle, wobei diese mitläuft und sich so die Reibung vermindert.

Allerdings besteht hier die Gefahr, dass sich der Faden um die Rolle verfitzt. Zudem kann eine Förderwirkung der Fadenschar entstehen, wenn deren Normalkraft neben der radialen auch eine axiale Komponente aufweist. Dies tritt ein, wenn der Legereinsatz

den Winkel beim Verlegen das Glasrovings ändert. Auf Grund dieser Nachteile scheidet diese Möglichkeit aus dem Vergleich aus.

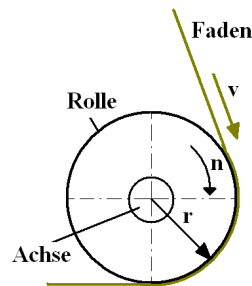


Abbildung 20: Umlenkung des Fadens um eine Rolle

### Variante 3

Diese Variante beruht auf dem Prinzip der Fadenumlenkung um mehrere Zylinder, die zudem aus verschleißfesten Werkstoffen bestehen können (Abbildung 21).

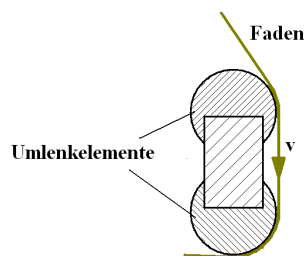


Abbildung 21: Umlenkung um zwei Zylinder

### Variante 4

Hierbei handelt es sich um eine abgewandelte Version von Variante 1, bei der an Stelle des Zylinders ein gebogenes Blech zur Fadenumlenkung eingesetzt wird. Von Vorteil ist hier die leichte Bauweise. Nachteilig ist allerdings, dass es zu einer verstärkten Geräuscentwicklung kommen kann, wenn das Blech anfängt zu schwingen.

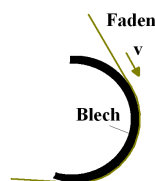


Abbildung 22: Umlenkung um ein Blech

## 6.2 Fadenseparierung

Im Zuge der Fadenseparierung wird die Fadenschar in eine bestimmte Teilung aufgegliedert, um so ein gewünschtes Legemuster zu erzielen.

Da der Legereinsatz die Fadenschar in verschiedene Richtungen legt, kommt es zu Kontakten zwischen den Elementen der Fadenseparierung und des Glasfilamentes. Demzufolge nehmen diese Elemente Kräfte auf und werden auf abrasiven Verschleiß beansprucht.

### Variante 1

Diese Art der Fadenseparierung (Abbildung 23) wird derzeit bei Karl Mayer MALIMO angewendet. Es besteht die Möglichkeit anstelle der Stifte Bleche einzusetzen.

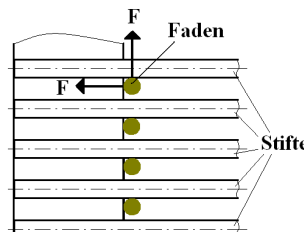


Abbildung 23: Fadenseparierung mit Stiften

### Variante 2

Bei dieser Variante werden anstatt der Stifte (Variante 1) „Verzahnungen“ in den Grundkörper eingebracht (Abbildung 24). An der Kontaktstelle zwischen Legereinsatz und Faden ist ein Radius  $R$  angebracht, der diese Kontaktfläche vergrößert und somit eine bessere Fadenführung gewährleistet.

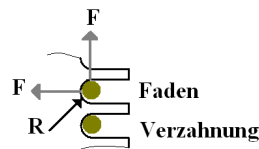


Abbildung 24: Fadenseparierung durch eine Verzahnung

### Variante 3

Eine weitere Möglichkeit ist die Führung der einzelnen Fäden mittels Bohrung oder Röhrchen.

### 6.3 Lösungsvarianten der Fadenseparierung und Umlenkung

Aus den vorhergehend dargestellten Möglichkeiten folgt nun im nächsten Schritt die Kombination der Varianten der Fadenumlenkung und Fadenseparierung.

#### 6.3.1 Legereinsatz aus zwei Formhälften (Variante I)

Variante I (Abbildung 25) setzt sich aus zwei Bauteilen zusammen, deren Herstellung als Feigussteil sich nur bei größeren Stückzahlen rentiert. Als Umformteil sind die geringen geometrischen Abmessungen der Verzahnungen (ca. 1 mm) hinderlich. Eine sinnvolle Möglichkeit bietet eine Auslegung als Frästeile, die anschließend miteinander verschweißt werden.

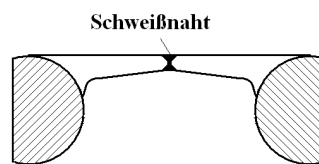


Abbildung 25: Legereinsatzvariante I

Da die Fügestelle der Frästeile genau in dem Bereich liegt, wo der Faden geführt wird, ist die Gefahr groß, dass sich ein Versatz und ein Spalt bilden, in dem die Fäden hängen bleiben oder aufgerieben werden können (Abbildung 26).

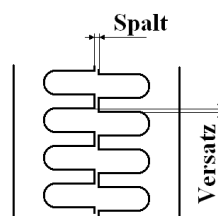


Abbildung 26: Mögliche Probleme der Variante I

Abhilfe könnte eine nochmalige Überarbeitung der Fügestelle schaffen. Aus fertigungstechnischer Sicht ist dies jedoch mit enormem Aufwand verbunden.



### 6.3.2 Legereinsatz als Aufsteckvariante (Variante II)

Das Prinzip dieser Variante (Abbildung 27) beruht auf zwei Achsen, auf die abwechselnd ein Distanzstück und ein Blech aufgesteckt werden.

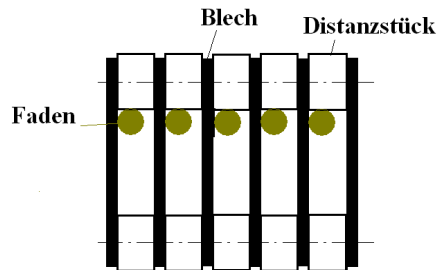


Abbildung 27: Legereinsatzvariante II

Die Umlenkung des Fadens wird durch das Distanzstück, hergestellt aus verschleißfesten Materialien, realisiert (Abbildung 28). Bei der Montage muss darauf geachtet werden, dass sich das Distanzstück nicht drehen kann.



Abbildung 28: Distanzstück

Die Funktion des Separierens wird in diesem Fall durch ein Blech (Blehdicke ca. 1 mm) ermöglicht, das beispielsweise durch Stanzen gefertigt werden kann (Abbildung 29).

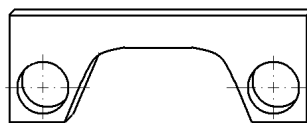


Abbildung 29: Blech

Die Schwachstelle dieser Variante ist der Bereich, wo das Blech und das Distanzstück aufeinander stoßen. Hier kann ein Glasfilament in den Fügspalt rutschen und sich verklemmen. Diesem konstruktiven Defizit kann entgegen gewirkt werden, indem eine zusätzliche Senkung in das Blech eingebracht wird, deren Durchmesser dem Außendurchmesser des Distanzstückes entsprechen muss und deren Tiefe wenige zehntel Millimeter aufweist.

Ein weiteres Problem stellt der enorme Fertigungs- und Montageaufwand dar. Zudem kann es auf Grund des Verspannens bei der Montage sowie der Vielzahl von Blechen und Distanzstücken zu Verwindungen des Legereinsatzes kommen.

### 6.3.3 Separierung mit Bohrungen (Variante III)

Diese Möglichkeit der Legereinsatzgestaltung (Abbildung 30) besteht aus einem Flachstahl, in dem Bohrungen eingebracht sind, welche die Funktion der Separierung übernehmen. Die Umlenkung der Fadenschar erfolgt über Zylinder, die an den Kanten angebracht sind.

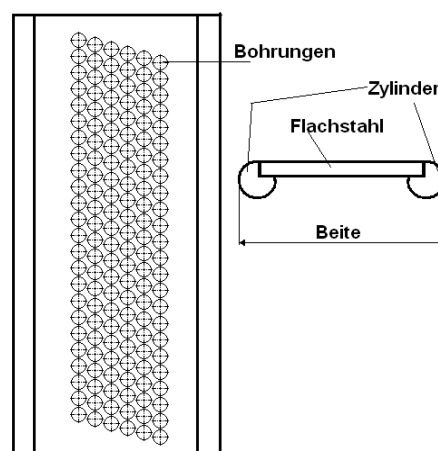


Abbildung 30: Legereinsatzvariante mit Bohrungen

Die geforderte Feinheit bedingt die Gestaltung des Bohrungsmusters. Die Herstellung ist verhältnismäßig einfach zu realisieren, da lediglich die Bohrungen nach dem vorgegebenem Muster angefertigt und die Zylinder angebracht werden müssen. Als Nachteil ist hier der enorme Platzbedarf in der Breite zu nennen.

### 6.3.4 Getrennte Separier- und Umlenkeinrichtung (Variante IV und V)

Variante IV greift das Prinzip auf, die Bauteile getrennt nach ihren Funktionen zu montieren. Das hat den Vorteil, dass nur die verschlissenen Elemente ausgetauscht werden müssen. Wenn eine andere Feinheit erforderlich wird, muss nur die Halterung für die Stifte gewechselt werden.

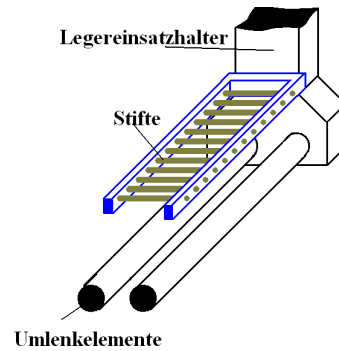


Abbildung 31: Legereinsatzvariante IV

Diese Variante ist bezüglich der Biegefestigkeit nicht optimal, da die Umlenkelemente nicht gestützt werden.

Die daraus folgende **Variante V** (Abbildung 32) kompensiert das Problem damit, dass hier die unteren Umlenkelemente mit der Halterung für die Stifte verbunden sind.

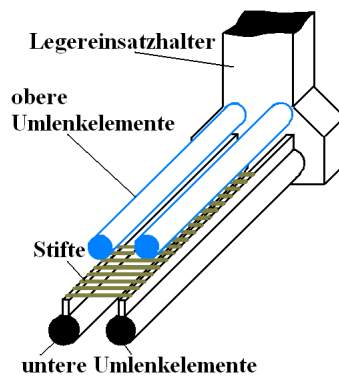


Abbildung 32: Legereinsatzvariante V

### 6.3.5 Legereinsatz aus Zylindern mit Nuten (Variante VI, VII und VIII)

Die nachfolgenden drei Varianten bestehen aus mehreren Zylindern, wobei in die oberen zwei Zylinder Nuten gedreht und darin Stifte (Abbildung 33) oder Bleche (Abbildung 34) zur Fadenseparierung eingefasst werden. Das Glasroving bewegt sich dabei zwischen den Separierelementen.

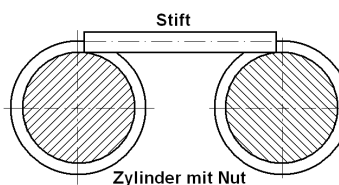


Abbildung 33: Stift in der Nut vom Zylinder

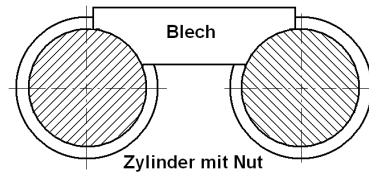


Abbildung 34: Blech in der Nut vom Zylinder

Da hier umlaufende Nuten angebracht sind, muss die Separierung durch Bleche erfolgen, weil diese im Gegensatz zu den Stiften die Ringnuten ausfüllen, so dass bei der Blechvariante der Faden nicht in diese hinein rutschen kann. Die Herstellung der Bleche erfolgt über Stanzen.

Bei **Variante VI** besteht der Legereinsatz aus einer Paarung von je drei Zylindern (Abbildung 35).

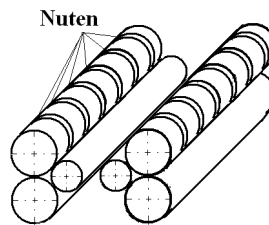


Abbildung 35: Variante VI

Vorteilhaft ist hier die hohe Biegesteifigkeit. Allerdings wird hier die maximal zulässige Breite von 15 mm überschritten. Auch der erhöhte Fertigungsaufwand in der Fügung der Teile stellt sich problematisch dar, da hierfür eine spezielle Vorrichtung notwendig ist.

Einen Optimierungsvorschlag bietet **Variante VII** (Abbildung 36). Der Unterschied besteht darin, dass auf einen Zylinder je Seite verzichtet wird. Das Fügen des jeweiligen Zylinderpaares wird über eine Feder-Nut-Verbindung realisiert.

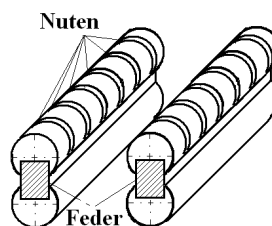


Abbildung 36: Variante VII

Die in Abbildung 37 dargestellte **Variante VIII** besteht aus ebenfalls zwei Zylindern je Seite, wobei die Zylinder hier abgeflacht wurden, um sie miteinander mittels Schweißnaht verbinden zu können.

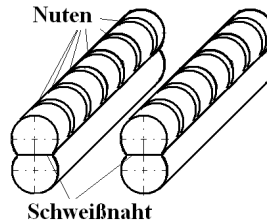


Abbildung 37: Variante VIII

### 6.3.6 Legereinsatz aus Feder und Zylindern (Variante IX)

Dieser mögliche Legereinsatz basiert auf Variante VII, allerdings sind in diesem Fall keine Ringnuten eingebracht. Die Federn müssen einen ausreichend großen Abstand zwischen den Zylindern gewährleisten, damit zwischen diesen Platz für das Anbringen der Stifte ist.

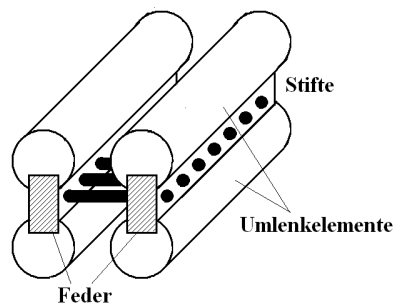


Abbildung 38: Legereinsatzvariante IX

In den Flachstahl (Grundkörper) werden mittels Fräsen ein Langloch und an den Seitenflächen Bohrungen für die Stifte eingebracht (Abbildung 39).



Abbildung 39: Flachstahl mit Langloch und Bohrungen

Schwierigkeiten ergeben sich aus der relativ dünnen Wandungsdicke des Grundkörpers, so dass es beim Langlochfräsen zu Verzug des Bauteils kommen kann. Zudem erfordert das Langlochfräsen eine zeitlich aufwendige Bearbeitung. Eine spanende

Nutbearbeitung der aus sehr harten Werkstoffen bestehenden Umlenkelemente gestaltet sich problematisch, so dass in diesem Fall die Nut durch Senkerodieren oder Schleifen hergestellt werden müsste. Das wiederum ist aus zeit- und kostenrelevanter Sicht sehr uneffizient.

### 6.3.7 Legereinsatz aus einem Frästeil (Variante X)

Diese Legereinsatzvariante basiert auf der vorhergehenden Variante IX (Abbildung 40). In diesem Fall wurde auf die Zylinder verzichtet und stattdessen ein Radius zur Umlenkung gefräst.

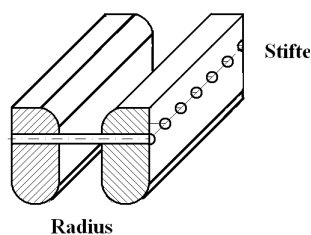


Abbildung 40: Variante X

Da die Fadenschar über die Innenfläche des Langloches gleitet, muss hier eine hohe Oberflächengüte bestehen. Auf Grund der Herstellung des Langloches mit einem Schaftfräser, ergeben sich Defizite in der erreichbaren Oberflächengüte, da diese am Umfang des Fräasers nicht so hoch ist wie an der Stirnfläche. Folglich sind die Rauheitswerte an den Innenflächen und damit den Kontaktstellen zwischen Faden und Legereinsatz zu hoch.

Abhilfe kann hier ein Absatz schaffen (Abbildung 41). Allerdings verkürzt sich die Bearbeitungszeit in diesem Fall nicht.

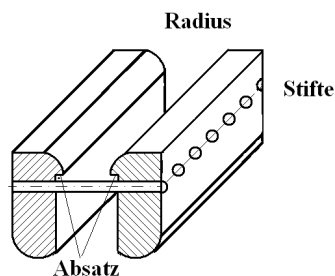


Abbildung 41: Variante X mit Absatz

Variante X erfordert eine Beschichtung, um die notwendige Oberflächenhärte zu erreichen. Für eine Verkürzung der Bearbeitungszeit des Langlochfräsens könnte die

Fertigung des Legereinsatzes über zwei Frästeile erfolgen, die separat hergestellt werden. Anschließend werden die zwei Teile paarweise zusammengestellt, um dann die Bohrungen oder Nuten für die Stifte einzubringen.

### 6.3.8 Legereinsatz mit Zylinder (Variante XI)

Hierbei handelt es sich um eine starke Anlehnung an den derzeitig verwendeten Legereinsatz (Abbildung 42).

Da hier der Legereinsatz aus zwei Rundstäben besteht, entfällt im Vergleich zu Variante X der zeitaufwendige Arbeitsgang des Fräsens der Langlöcher und der Radien.

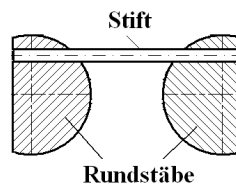


Abbildung 42: Legereinsatzvariante XI

Aus Abbildung 42 ist ersichtlich, dass die Stifte in das Rundmaterial eingebracht sind. Die Herstellung erfordert eine spanende Bearbeitung, weshalb der Einsatz von sehr harten Werkstoffen hier kaum möglich ist. Aus diesem Grund muss der Legereinsatz mit einer verschleißfesten Schicht versehen werden.

### 6.3.9 Frästeil mit verschleißfesten Umlenkelementen (Variante XII)

Bei dieser Möglichkeit der Legereinsatzgestaltung kann auf eine abschließende Beschichtung verzichtet werden, da die Umlenkelemente und Stifte aus sehr harten Materialien bestehen. Wie in Abbildung 43 zu erkennen, werden die Umlenkelemente nur auf eine bestimmte Länge gebracht und anschließend in die dafür vorgesehenen Nuten geklebt oder gelötet.

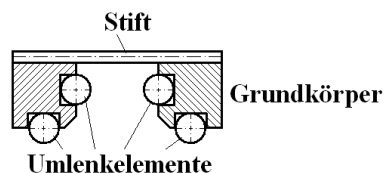


Abbildung 43: Legereinsatzvariante XII

## 6.4 Variantenvergleich

Der Variantenvergleich der vorangehenden Lösungsansätze erfolgt mittels eines Bewertungsverfahrens, bei dem Punkte vergeben werden. Je höher die Punktzahl, um so besser ist die Variante. In der nachfolgenden Tabelle 2 sind die Punkte mit ihrer Bedeutung aufgeführt.

Tabelle 2: Bewertungen für Variantenvergleich

	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Aufwand beim Spanen	spezielles WZ, mit Vorrichtung	Norm-WZ, mit Vorrichtung	spezielles WZ, ohne Vorrichtung	Norm-WZ, ohne Vorrichtung	wie bei Anlieferung (Normteile) od. kein BT
Anschaffungskosten der Werkstoffe			sehr harte Materialien	legierter Baustahl	allgemeiner Baustahl
Aufwand zum Fügen	Fügen mit Vorrichtung, spezielle Technologie	Fügen ohne Vorrichtung, spezielle Technologie	Fügen mit Vorrichtung	Fügen ohne Vorrichtung	kein Bauteil
Beschichten	notwendig für alle Bauteile		notwendig für einige Bauteile		nicht notwendig
Biegefestigkeit	gering		mittlerer Bereich		sehr hoch

Tabelle 3 zeigt den Variantenvergleich mit den vergebenen Punkten in Bezug auf die jeweilige Anforderung.



Tabelle 3: Vergleich der Lösungsansätze

		Aufwand beim Spanen			Anschaffungskosten der Werkstoffe			Beschichtung	Aufwand beim Fügen	Biegefestigkeit	Summe	Rang
		Grundkörper	Umlenkung	Separier	Grundkörper	Umlenkung	Separier					
	Wicht.	0,10	0,10	0,10	0,07	0,07	0,07	0,21	0,15	0,13	1,00	
I	Wert	4	5	5	4	4	4	1	1	3		8
	Gew. Wert	0,4	0,5	0,5	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,4	3	
II	Wert	4	4	3	5	4	5	3	2	1		7
	Gew. Wert	0,4	0,4	0,3	0,4	0,3	0,4	0,6	0,3	0,1	3,1	
III	Wert	4	4	5	5	3	5	3	4	1		4
	Gew. Wert	0,4	0,4	0,5	0,4	0,2	0,4	0,6	0,6	0,1	3,6	
IV	Wert	4	4	5	5	3	5	3	4	3		2
	Gew. Wert	0,4	0,4	0,5	0,4	0,2	0,4	0,6	0,6	0,4	3,8	
V	Wert	5	4	2	3	3	4	3	4	5		3
	Gew. Wert	0,5	0,4	0,2	0,2	0,2	0,3	0,6	0,6	0,7	3,7	
VI	Wert	4	4	2	5	3	4	3	4	3		5
	Gew. Wert	0,4	0,4	0,2	0,4	0,2	0,3	0,6	0,6	0,4	3,5	
VII	Wert	4	4	2	3	3	4	3	4	3		6
	Gew. Wert	0,4	0,4	0,2	0,2	0,2	0,3	0,6	0,6	0,4	3,3	
VIII	Wert	4	5	5	4	5	5	1	4	1		6
	Gew. Wert	0,4	0,5	0,5	0,3	0,4	0,4	0,2	0,6	0,1	3,3	
IX	Wert	4	3	5	5	3	4	3	4	3		3
	Gew. Wert	0,4	0,3	0,5	0,4	0,2	0,3	0,6	0,6	0,4	3,7	
X	Wert	4	4	5	4	4	4	1	4	3		6
	Gew. Wert	0,4	0,4	0,5	0,3	0,3	0,3	0,2	0,6	0,4	3,3	
XI	Wert	4	5	5	5	4	4	3	4	3		1
	Gew. Wert	0,4	0,5	0,5	0,4	0,2	0,3	0,6	0,6	0,4	3,9	
XII	Wert	5	4	5	5	3	4	3	4	3		1
	Gew. Wert	0,5	0,4	0,5	0,4	0,3	0,3	0,6	0,6	0,4	3,9	

Die sich aus dem Vergleich ergebenden zwei erstplatzierten Varianten werden im Folgenden näher betrachtet.

## 7 Lösungsansätze für die Befestigung der Stifte

In diesem Kapitel werden die für die Separierung des Glasrovings vorgesehenen Stifte ausführlich untersucht. Dabei wird mit einer Zusammenfassung von möglichen Stiftwerkstoffen begonnen. Anschließend werden die Möglichkeiten einer Bohrungs- oder Nutgestaltung verglichen und Befestigungsverfahren betrachtet.

### 7.1 Materialauswahl für die Stifte

Die Auswahlkriterien für die Stifte sind ein Durchmesser von ca. 1 mm, ausreichende Festigkeitswerte und eine geschliffene oder polierte Oberfläche. Tabelle 4 zeigt eine Zusammenstellung der aus der Internetrecherche hervorgegangenen Möglichkeiten.

Tabelle 4: Zusammenfassung von möglichen Stiftwerkstoffen

	Hartmetall Carbidur 902	unlegierter Kaltarbeitsstahl C80W1	Warmarbeitsstahl X38CrMoV5-1	martensitischer Stahl X20Cr13	austenitischer Stahl X10CrNi18-8
lieferbare Abmessung [mm]	1 x 320	1,16 x 15	1,16 x 15	1 x 3000	1 x 3000
Zugfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	2128	510	1275 - 1770	700 - 850	460 - 680
Härte	92 HRA (1750 HV)	57 HRC (ca. 630 HV)	52-54 HRC (ca. 570 HV)	230 HB (ca. 240 HV)	215 HB (ca. 225 HV)
Losgröße [Stück]	1	1400	1400	1	1
Preis pro Los [€]	4,40	69,00	980,00	Keine Angabe	Keine Angabe
Preis pro Stift [€]	0,21	0,07	0,70		
Händler	www.carbidur.de	Drei-S-Werk, Schwabach	Drei-S-Werk, Schwabach	www.crw- feindraht.de	www.crw- feindraht.de
Stand	15.05.2009, 15:00 Uhr	16.06.2008	16.06.2008	Keine Angabe	Keine Angabe

Anhand der Härtewerte erreicht nur der Hartmetallstift (Carbidur 902) gegenüber den Glasfilamenten die erforderliche Härte von über 1200 HV. Die anderen Stifte besitzen eine geringere Härte und müssen daher mit einer verschleißfesten Schicht versehen werden.

## 7.2 Gestaltungsmöglichkeiten für Bohrungen und Nuten

An dieser Stelle werden die Möglichkeiten zur Gestaltung und Herstellung von Bohrungen bzw. Nuten zur Positionierung der Stifte näher untersucht. Die spanende Bearbeitung setzt sich aus wirtschaftlichen und technologischen Gründen durch.

### 7.2.1 Untersuchung der Stiftbefestigung in einer Bohrung

Hierbei wird eine Bohrung mittels Spiralbohrer (1,5 mm; Löher DIN 338; 12,66 €; [www.mercateo.de](http://www.mercateo.de); Stand: 04.05.2009) eingebracht, deren Durchmesser so groß ist, dass ein Spalt von 0,25 mm zwischen Stift und Bohrungswand entsteht (Abbildung 44). In diesen Spalt soll Kleb- oder Lotwerkstoff eingebracht werden.

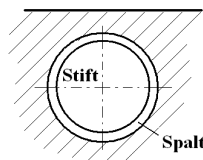


Abbildung 44: Bohrung und Stift mit Spalt

Von Nachteil ist, dass der Stift in der Bohrung ein zu großes Spiel hat, weshalb es nur schwer möglich ist, den Stift genau zu positionieren. Die Montage erfordert daher eine Vorrichtung.

Für eine exakte Stiftpositionierung ohne Vorrichtung sollte eine Senkung eingebracht werden, die einen ausreichend großen Spalt zur Verfüllung mit Kleb- bzw. Lotwerkstoff schafft (Abbildung 45). Um diese Art der Bohrung zu fertigen, wird im ersten Schritt ein Durchgangsloch mit einem Spiralbohrer gebohrt, der dem Stiftdurchmesser entspricht. Für einen 1-mm-Stift kann ein 1,05-mm-Spiralbohrer (Löher DIN 338; 20,58 €; [www.mercateo.de](http://www.mercateo.de); Stand: 04.05.2009) verwendet werden. Die Herstellung des Spaltes kann mit Hilfe des 1,5 mm-Spiralbohrer (siehe oben) erfolgen.

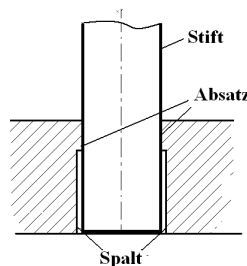


Abbildung 45: Bohrung mit Senkung

Eine weitere Möglichkeit der Stiftbefestigung bietet die Presspassung (Abbildung 46). Voraussetzung hierfür ist, dass Bohrung und Stift eine hohe Passgenauigkeit aufweisen. Um einer Kerbwirkung zu entgehen sowie das Fügen zu erleichtern, muss eine Rundung oder Fase an den Fügepartnern angebracht werden.

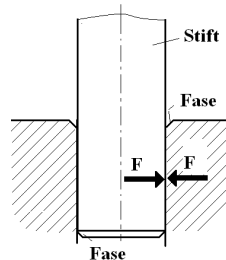


Abbildung 46: Befestigung durch Einpressen

Bei dieser Variante können die Stifte genau positioniert werden. Allerdings gestaltet sich die Montage durch die Vielzahl der Stifte schwierig, da genau darauf geachtet werden muss, dass jeder Stift exakte Lagetoleranzen aufweist. Zudem ist die Herstellung einer Presspassung bei derart kleinen Abmessungen nur mit speziellen Reibahlen möglich. Die Standard-Reibahlen besitzen die Toleranzklasse H7. Für diesen Zweck müsste die Toleranzklasse bei K7 liegen, da der Stift die Klasse h6 oder m6 hat. Um eine stoffschlüssige Verbindung zu erzeugen wird zusätzlich eine Schweißnaht angebracht. Dabei genügt es die Bohrung als Übergangspassung (H7) auszulegen (Abbildung 47).

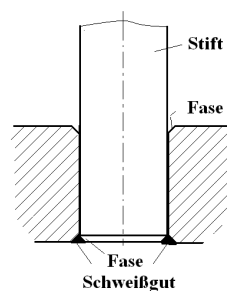


Abbildung 47: Stift mit Passung und zusätzlicher Schweißnaht

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass sich aus diesen dargestellten Varianten eine sehr aufwendige Herstellung der Bohrungen und damit eine umfangreiche Bearbeitungszeit ergeben, da der Bohrprozess zur Beseitigung der Späne immer wieder unterbrochen werden muss. Außerdem besteht das Problem der maximalen Bohrerlänge, die für den erforderlichen Bohrdurchmesser zu gering ist. Folglich müsste das Werkstück für die Fertigung der Bohrung von zwei Seiten umgespannt werden.

Dies wiederum bringt Schwierigkeiten hinsichtlich der Positionierung der Bohrungen zueinander mit sich. Daher wird eine Bohrung als Möglichkeit der Stiftbefestigung ausgeschlossen.

### 7.2.2 Untersuchung der Stiftbefestigung in einer Nut

Die Stiftbefestigung in einer Nut findet derzeit bei Karl Mayer MALIMO Anwendung.

Die Nut wird mit einem Kreissägeblatt von 1 mm Breite zweistufig (Nachsetzen des Werkzeuges) gefräst, da die Nutbreite 1,1 mm aufweisen soll. Wie in Abbildung 48 dargestellt, wird der Stift anschließend verschweißt. Wird die Nut etwas breiter hergestellt, kann die Befestigung auch durch Löten oder Kleben realisiert werden.

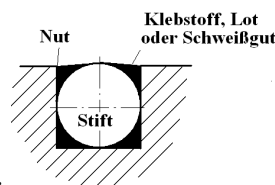


Abbildung 48: Befestigung des Stiftes in einer Nut

Für die Herstellung einer 1,5-mm-breiten Nut wird ein entsprechendes Kreissägeblatt (HSS; feingezahnt 125 mm x 1,5 mm x 22 mm; 44,76 €; [www.mercateo.de](http://www.mercateo.de); Stand: 06.07.2009) eingesetzt. Die Befestigung der Stifte kann hierbei jedoch nur durch Löten oder Kleben erfolgen.

Die genaue Stiftpositionierung in der Nut erweist sich hier als schwierig, weil der Stift in der Nut zuviel Spiel hat. Dieses Problem kann jedoch mit einer Vorrichtung für den Fügeprozess beseitigt werden. Die Möglichkeit des Einsatzes eines Halbrundscheibenfräasers scheidet aus, da dieser nur in einer Breite ab 2 mm lieferbar ist. Die Nutfertigung mittels 1,1-mm-Schaftfräser ist ebenfalls nicht optimal, da die Bearbeitungsdauer zu lang und der Fräser zu schnell verschlissen ist.

Eine andere Variante der Nutgestaltung ist die Auslegung als Prisma (Kerbe), bei der auf Grund der geometrischen Form der Stift immer zentriert wird (Abbildung 49).



Abbildung 49: Kerbe zu Stiftpositionierung

Die Herstellung der Kerbe kann spanend durch Schrägstellen eines Schaftfräasers (Orion D844K HSSE 8 mm; 6,89 €; [www.mercateo.de](http://www.mercateo.de); Stand: 05.06.2009) oder mittels Prismenfräser (Franken HSS DIN 847-T90°; 375,61 €; [www.mercateo.de](http://www.mercateo.de); Stand: 05.06.2009) erfolgen.

Für eine objektive Beurteilung der Nutgestaltung werden die Bearbeitungszeiten miteinander verglichen.

Für die Beispielrechnung (Anhang II) zur Fertigung einer Nut werden der Grundwerkstoff 16MnCr5 sowie eine Nutlänge von 15 mm angenommen. In Tabelle 5 sind die ausgesuchten Fräswerkzeuge mit den dazu gehörigen Schnittwerten zusammengefasst.

Tabelle 5: Zusammenfassung der Fräswerkzeuge zu Nutherstellung

	<b>Schaftfräser D844K HSSE 8 mm FORUM</b>	<b>Prismenfräser D.100 mm HSS DIN 847-T 90° FRANKEN</b>	<b>Metallkreissägeblatt HSS feingezahnt 100 mm x 1,0 mm BADER</b>
Kosten [€] <a href="http://www.mercateo.de">www.mercateo.de</a>	6,29	375,61	25,76
Schneidenanzahl	4	24	128
$v_c$ [m/min] /5; Seite 282/	24	24	55
$f_z$ je Zahn [mm] /5; Seite 282/	0,013 - 0,11	0,04 - 0,13	0,002 - 0,02
Stand	05.06.2009, 14:10 Uhr	05.06.2009, 14:00 Uhr	05.06.2009, 14:15 Uhr
Bearbeitungszeit pro Nut [min]	0,05	0,088	0,093

Aus der obigen Tabelle geht hervor, dass ein Schaftfräser für diese Anwendung zu bevorzugen ist, da einerseits die Anschaffungskosten vergleichsweise gering und andererseits die Bearbeitungszeit am kürzesten ist.

Daraus ergibt sich nun die Frage, mit welcher Tiefe die Kerbe eingebracht werden kann ohne mit der Nachbarkerbe zu kollidieren. Dabei verbreitert sich die Kerbe mit zunehmender Tiefe (Abbildung 50).

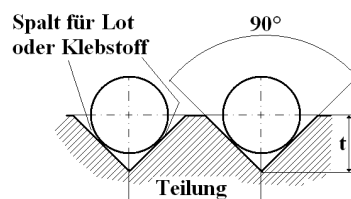


Abbildung 50: Bestimmung der Tiefe der Nut

### Berechnung der Kerbtiefe $t$

Hierbei wird von einem Stiftdurchmesser von 1 mm ( $r_{Stift} = 0,5 \text{ mm}$ ) und einem Klebe- bzw. Lötspalt ( $a_{Spalt}$ ) von 0,1 mm ausgegangen.

$$t = \frac{r_{Stift} + a_{Spalt}}{\sin \frac{90^\circ}{2}} = \frac{0,5 \text{ mm} + 0,1 \text{ mm}}{\sin 45^\circ} = \underline{\underline{0,84 \text{ mm}}}$$

Damit beträgt die erforderliche Kerbenbreite (doppelte Kerbtiefe bei  $90^\circ$ ) für einen 1-mm-Stift 1,68 mm. Folglich kann bei einer Feinheit von 15 bis 21 E (Teilung von 1,59 bis 1,21 mm) die Stiftbefestigung in Kerben nicht zum Einsatz kommen. Für diese Feinheiten muss die Nut mit dem Kreissägeblatt hergestellt werden. Wird ein 1,16-mm-Stift verwendet, muss analog dazu die Kerbebreite 1,92 mm betragen. Damit kann der Einsatz der Kerben nur noch bis zu einer Feinheit von 13 E (Teilung 1,95 mm) erfolgen. Um dennoch große Feinheiten erzielen zu können, kommen 0,8-mm-Stifte zur Anwendung. Diese sind nur aus dem Werkstoff C80W1 lieferbar.

## **7.3 Möglichkeiten der Stiftbefestigung**

### **7.3.1 Schweißen**

Das Schweißen von Stählen ist im Wesentlichen vom Kohlenstoffgehalt und von der Erschmelzungs- und Vergießart abhängig. Bei legierten Stählen ist zudem noch die Menge der Legierungsbestandteile relevant.

Im Zuge der Bearbeitung wird von den Grundwerkstoffen S235JR und 16MnCr5 ausgegangen. Zuerst müssen die Werkstoffkombinationen auf Schweißbarkeit geprüft werden. Dabei werden die Werkstoffe nach ihren Legierungselementen bestimmt. In Tabelle 6 sind die Legierungselemente in Analyse-% aufgegliedert /Int. 7/.

Tabelle 6: Werkstoffe mit Legierungselementen

	Grundkörperwerkstoff		Stiftwerkstoff			
	S235JR	16MnCr5	C80W1	X38CrMoV 5-1	X20Cr13	X10CrNi18-8
	1.0037	1.7131	1.1525	1.2343	1.4021	1.4310
C	max. 0,17	0,14 - 0,19	0,75 - 0,85	0,36 - 0,42	0,17 - 0,25	max 0,12
Si	max. 0,3	max. 0,4	0,1 - 0,25	0,9 - 1,2	max. 1	max. 1,5
Mn	0,2-0,5	1,0 - 1,3	0,1 - 0,25	0,3 - 0,5	max. 1	max. 2
S	max. 0,05	max. 0,035	max. 0,02	0,03	max. 0,03	max. 0,015
Cr		0,8-1,1		4,8 - 5,5	12,0 - 14,0	16,0 - 18,0
Mo				1,1 - 1,4		max. 0,8
Ni						10,0 - 12,5
N	max. 0,009					
P				max. 0,03		
V				0,25 - 0,5		

Die Schweißbeignung **unlegierter Stähle** (S235JR und C80W1) ist gegeben, wenn deren Kohlenstoffgehalt unter 0,22% liegt. Diese Bedingung gilt allerdings nur für S235JR ( $C > 0,17\%$ ). Somit kann der C80W1 nicht verschweißt werden.

Beim **niedriglegierten Stahl** (16MnCr5) wird das Kohlenstoffäquivalent ( $CE$ ) zur Beurteilung der Schweißbarkeit herangezogen. Dieses errechnet sich wie folgt:

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} [\%] \quad /11; \text{Seite 30/}$$

$$CE_{max}^{16MnCr5} = 0,19\% + \frac{1,3\%}{6} + \frac{1,1\% + 0\% + 0\%}{5} + \frac{0\% + 0\%}{15} = \underline{\underline{0,63\%}}$$

Der 16MnCr5 ist nur bedingt schweißbar, da das errechnete Kohlenstoffäquivalent über 0,4% liegt. Dies macht ein Vorwärmen der Bauteile oder eine Erhöhung der Streckenenergie beim Schweißen erforderlich.

Da hier nur die einzelnen Werkstoffe untersucht wurden und nicht die Kombination zueinander, muss das Schaeffler-Diagramm zu Rate gezogen werden (Abbildung 51). Dieses wird auch für **hochlegierte Stähle** (X38CrMoV5-1, X20Cr13, X10CrNi18-8) verwendet. Mit diesem können im Vorfeld mögliche Gefügeveränderungen abgeschätzt werden. Anhand der Farbbereiche lassen sich Rückschlüsse auf mögliche Gefahren, die mit den Gefügegebilden einhergehen, ziehen.



Im martensitischen Bereich (M) besteht die Gefahr des Auftretens von Härterissen. Im austenitischen Bereich (A) können Warmrisse vorkommen. Eine Sigma-Phasen-Versprödung tritt in den Mischbereichen von Austenit und Ferrit (A+F) auf. Im ferritischen Bereich (F) muss bei ferritischen Stählen das Kornwachstum berücksichtigt werden.

Das Ziel jeder schweißbaren Werkstoffkombination ist das weiße Gebiet, welches im Austenitbereich mit ca. 10% bis 15% Ferritanteil liegt. Für eine Einordnung der Werkstoffe in das Diagramm müssen das Chrom-Äquivalent ( $Cr_{eq}$ ) und das Nickel-Äquivalent ( $Ni_{eq}$ ) der jeweiligen Materialien errechnet werden. Dabei ist Chrom ein Ferrit- und Nickel ein Austenitbildner /Int. 7/.

$$Cr_{eq} = \%Cr + \%Mo + 1,5\%Si + 0,5\%Nb + 2\%Ti \quad /Int. 7/$$

$$Ni_{eq} = \%Ni + 30\%C + 0,5\%Mn \quad /Int. 7/$$

Da Stickstoff in S235JR vorkommt und ein starker Austenitbildner ist, wird dieser in die Nickel-Äquivalent-Berechnung mit dem Faktor 30 einbezogen /Int. 7/.

Tabelle 7: Errechnete Äquivalente

		<b>S235JR</b>	<b>16MnCr5</b>	<b>C80W1</b>	<b>X38CrMo V5-1</b>	<b>X20Cr13</b>	<b>X10CrNi 18-8</b>
$Cr_{eq}$ [%]	max	0,45	1,7	0,38	8,7	15,5	21,05
	min	0	0,8	0,15	7,25	13,5	16
$Ni_{eq}$ [%]	max	8,05	6,35	25,63	12,85	8	17,1
	min	0,1	4,7	22,55	10,95	5,6	10

In dem nachstehenden Schaeffler-Diagramm (Abbildung 51) sind die Werkstoffbereiche (schwarze Felder) mit Linien verbunden. Die Länge der Linien entspricht 100% der Aufmischung.

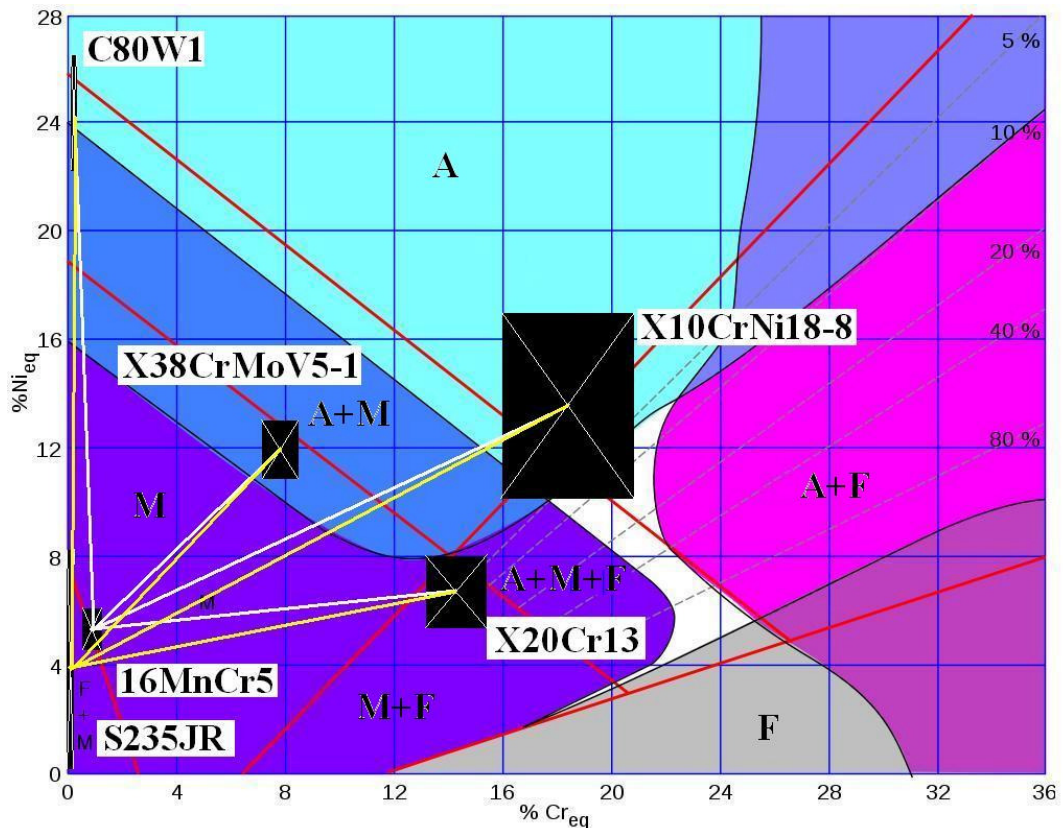


Abbildung 51: Werkstoffe im Schaeffler-Diagramm

Aus Abbildung 51 ist ersichtlich, dass die Linien (weiße Linie: S235JR, gelbe Linie: 16MnCr5) den schweißbaren Bereich (weiß) nicht kreuzen. Damit sind diese Werkstoffkombinationen nicht schweißgeeignet. Von einer Stiftbefestigung durch Schweißen ist daher abzuraten.

### 7.3.2 Kleben

Das Kleben ist die Verbindung von gleichen oder verschiedenartigen metallischen und nichtmetallischen Werkstoffen und hängt von den jeweiligen Eigenschaften der Bauteile und des Klebstoffes als Verbindungsmittel ab. In Tabelle 8 sind einige 2-Komponenten-Klebstoffe aufgeführt.

Tabelle 8: Zusammenfassung der Klebstoffe

	<b>UHU plus endfest 300</b>	<b>Technicoll 9405</b>	<b>Loctite 330/7388</b>
Chem. Basis	EP	PUR	Urethanmethacrylatester
Preis pro Packung	6,05 € pro 33 g	12,08 € pro 380 ml	14,58 € pro 50 ml
Topfzeit bei RT [min]	60 - 90	45	15
Vorbehandlung	Aceton od. UHU Universalreiniger	Aceton od. Technicoll 8363	Aceton
Aushärtung	Luft, RT, ohne Presskraft	Luft, RT, ohne Presskraft	Aktivator 7388 (im Set)
Festigkeit bei Aushärtung RT	12 h 12 N/mm <sup>2</sup>	24 h 12 N/mm <sup>2</sup>	12-22 N/mm <sup>2</sup>
Temperaturbeständigkeit [°C]	-40 - 80	-30 - 80	-55 - 100
Händler	www.uhu-profishop.de	www.technicoll.eu	www.mercateo.com
Stand	20.05.2009, 12:45 Uhr	20.05.2009, 12:30 Uhr	20.05.2009, 13:00 Uhr

Bei der Konstruktion einer Klebverbindung ist auf folgende Punkte zu achten:

- genügend große Klebefläche,
- nach Möglichkeit nur Scher-, Zug- oder Druckbeanspruchungen wählen,
- Schäl- und Biegebeanspruchungen vermeiden.

Der Nachweis der Tragfähigkeit der Verbindung ist erbacht, wenn die Festigkeit der Klebverbindung ( $\tau_{KB}$ ) der Festigkeit der Stifte ( $\sigma_{Stift}$ ) entspricht. Infolge dessen muss die Klebfläche ( $A_{KB}$ ) und damit die Überlapplänge ( $l_u$ ) entsprechend groß ausgelegt werden (Tabelle 9).

$$\tau_{KB} = \frac{K_A * F_N}{A_K} \leq \tau_{zul} = \frac{\tau_{KB}}{S_K}$$

$$\sigma_{Stift} = \frac{F_N}{A_{Stift}} \leq \sigma_{zul} = \frac{R_m}{S_{Stift}}$$

$$A_{KB} = 0,5 * d_{Stift} * \pi * l_u$$

$$A_{Stift} = \frac{\pi}{4} * d_{Stift}^2$$

$$l_u = \frac{K_A * R_m * d_{Stift} * S_K}{2 * \tau_{KB}}$$

$K_A = 2$  (Anwendungsfaktor, wechselnde Beanspruchung)

$S_K = 2$  (Sicherheitsbeiwert)

Tabelle 9: Berechnung der erforderlichen Überlapplänge beim Kleben

	Stiftwerkstoff	Hartmetall Carbidur 902	unlegierter Kaltarbeitsstahl C80W1	Warmarbeitsstahl X38CrMoV5-1	martensitischer Stahl X20Cr13	austenitischer Stahl 10CrNi18-8
	$d_{\text{Stift}}$ [mm]	1	1,16	1,16	1	1
	$R_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]	2130	510	1275 - 1770	700 - 850	460 - 680
Klebstoff	$\tau_{\text{KB}}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	<b>Überlapplänge</b> [mm]				
UHU plus endfest 300	12	354,7	98,6	342,2	141,7	113,3
Technicoll 9405						
Loctite 330/7388						

Die erforderliche Überlapplänge ist bei allen Stiftvariationen sehr hoch, weshalb die Verwendung als Stiftbefestigung nur möglich ist, wenn eine zusätzliche Brücke eingebaut wird.

### 7.3.3 Löten

Das Löten unterteilt sich in drei Gruppen, die sich nach der Liquidustemperatur des Lotes richten:

- Weichlöten ( $t_s < 450^\circ\text{C}$ )

Dieses Verfahren wird nur angewendet, wenn an das Bauteil keine hohen Festigkeitsanforderungen bestehen, da das Weichlot bei Dauerbeanspruchung zum Kriechen neigt.

- Hartlöten ( $450^\circ\text{C} < t_s < 900^\circ\text{C}$ )

Diese Art des Lötens kommt meist dann zur Anwendung, wenn die Bauteile Kräfte übertragen sollen.

- Hochtemperaturlöten ( $t_s > 900^\circ\text{C}$ )

Tabelle 10 zeigt eine Zusammenfassung von Hartlotwerkstoffen, die für den Einsatz zur Stiftbefestigung geeignet sind.

Tabelle 10: Zusammenfassung der Lotwerkstoffe

	<b>BrazeTec 6488 (für TiN-Schicht)</b>	<b>BrazeTec 2700</b>	<b>BrazeTec 4900</b>
Bez. nach DIN 8513		L-Ag27	L-Ag49
Scherfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	150 - 300	150 - 300	250 - 300
Arbeitstemp. [°C]	770	830	690
Temp.Lötstelle [°C]	200	300	200
Preis [€] (Stab: d = 1 mm, l = 500 mm, 1 kg)	164,90	151	145,50
Lötverfahren	Flamm, Induktion		
Flussmittel	BrazeTec h80 (F-SH 1)		
Preis [€] (1-kg-Dose)	89,60		
Händler	www.armin-hain.de		

Der Nachweis der Festigkeit der Lötverbindung ( $\tau_{LB}$ ) ist erbracht, wenn die Überlapplänge ( $l_{ii}$ ) dem Wert der Tragfähigkeit der Stifte ( $\sigma_{Stift}$ ) entspricht (Tabelle 11).

$$\tau_{LB} = \frac{K_A * F_N}{A_{LB}} \leq \tau_{zul} = \frac{\tau_{LB}}{S_{LB}}$$

$$\sigma_{Stift} = \frac{F_N}{A_{Stift}} \leq \sigma_{zul} = \frac{R_m}{S_{Stift}}$$

$$A_{LB} = 0,5 * d_{Stift} * \pi * l_{ii}$$

$$A_{Stift} = \frac{\pi}{4} * d_{Stift}^2$$

$$l_{ii} = \frac{K_A * R_m * d_{Stift} * S_{LB}}{2 * \tau_{LB}}$$

$K_A = 2$  (Anwendungsfaktor, wechselnde Beanspruchung)

$S_{LB} = 2$  (Sicherheitsbeiwert)

Tabelle 11: Berechnung der erforderlichen Überlapplänge beim Lötens

	Stiftwerkstoff	Hartmetall Carbidur 902	unlegierter Kaltarbeitsstahl C80W1	Warmarbeitsstahl X38CrMoV5-1	martensitischer Stahl X20Cr13	austenitischer Stahl 10CrNi18-8
	$d_{\text{Stift}}$ [mm]	1	1,16	1,16	1	1
	$R_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]	2130	510	1275 - 1770	700 - 850	460 - 680
Lotwerkstoff	$\tau_{LB}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Überlapplänge [mm]				
BrazeTec 6488	150-300	28,4	6,8	27,37	11,33	9,1
BrazeTec 4900 L-Ag49	250-300	17	4,08	16,43	6,8	5,44
BrazeTec 2700 L-Ag27	150-300	28,4	6,8	27,37	11,33	9,1

Auf Grund der geringen Werte der Überlapplänge ist die Anwendung des Lötens zur Befestigung der Stifte am Legereinsatz möglich.

Die Befestigung durch Lötens erfolgt durch das Auflegen eines Lotbandes in die vorher mit Flussmittel benetzten Kerben und anschließendes Fixieren der ebenfalls benetzten Stifte (Abbildung 52).

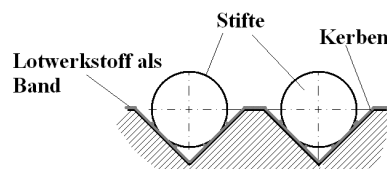


Abbildung 52: Befestigung mit Lotwerkstoff als Band

Das Lotband ist in 0,1 mm Dicke und allen in Tabelle 10 aufgeführten Lotwerkstoffen lieferbar. Die Lotbanddicke erzeugt zugleich die erforderliche Spaltbreite.

Beim Verlegen des Lotbandes ist auf saubere Durchführung zu achten, damit der Lotwerkstoff sich nur an den vorgesehenen Stellen befindet. Im Anschluss wird dieser mit einer Wärmequelle (Flamme oder Induktionsofen) zum Schmelzen gebracht. Abschließend wird der Legereinsatz vom Flussmittel befreit.

#### **7.3.4 Zusammenfassung der Stiftbefestigungsvarianten**

Zusammenfassend ist von einer Stiftbefestigung durch Schweißen abzuraten, da dies ungünstige Gefügeveränderungen mit sich bringt. Die Befestigung durch Kleben ist nur dann zu empfehlen, wenn eine zusätzliche Brücke zwischen den Einzelteilen (zB. Rundstäbe) geschaffen wird. Für die Anwendung am Legereinsatz ist das Löten mit dem Lotwerkstoff BrazeTec 6488 zu favorisieren, da dieser für eine Beschichtung im Vakuum geeignet ist.

## 8 Ermittlung der Kräfte für den Legereinsatz

Das Schusslegesystem an einer Multiaxialmaschine legt die Fadenschar in verschiedenen Winkeln hinsichtlich der Vorschubrichtung des Geleges. In Abbildung 53 liegt die Fadenschar in einem  $45^\circ$ -Winkel, wobei das Glasroving die vertikale Stiftreihe nur punktuell berührt und die horizontalen Stifte im  $90^\circ$ -Winkel umschlingt.

Wird die Fadenschar in einem Winkel von  $90^\circ$  verlegt, so entsteht ein  $45^\circ$ -Umschlingungswinkel an der vertikalen und ein  $90^\circ$ -Umschlingungswinkel an der horizontalen Stiftreihe (Abbildung 54).

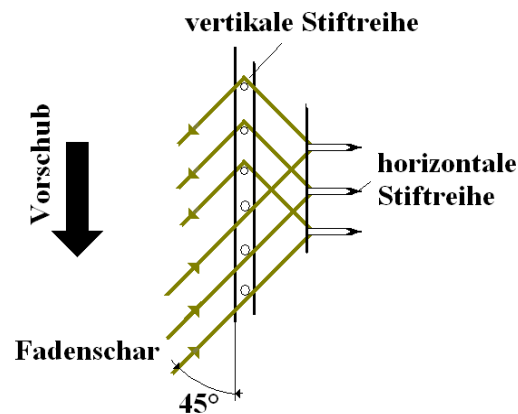


Abbildung 53: Schusslegesystem in  $45^\circ$ -Winkel

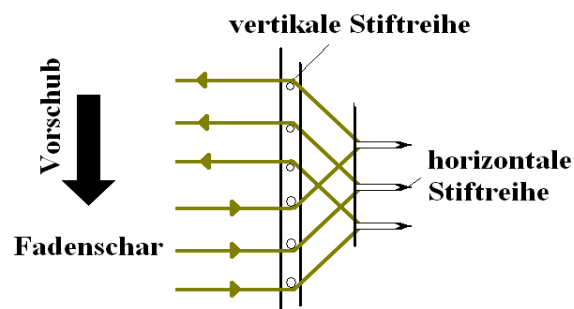


Abbildung 54: Schusslegesystem in  $90^\circ$ -Winkel

Demzufolge wird der Legereinsatz mit unterschiedlichen Kräften belastet.

In der Abbildung 55 ist die Kraftaufteilung an der Einhängenvorrichtung dargestellt. Für die Berechnung wird von einer Fadenspannkraft ( $F_{\text{Fadenspann}}$ ) von 10 N ausgegangen.



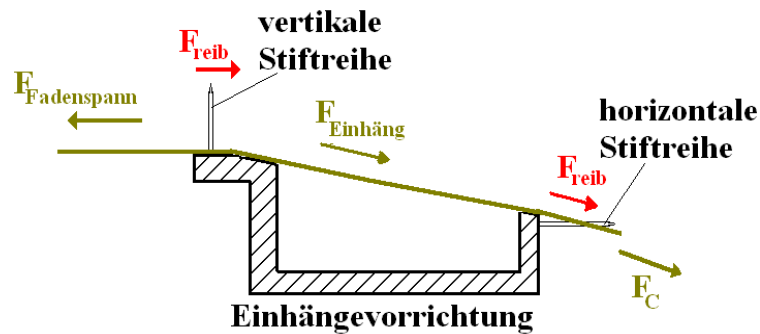


Abbildung 55: Berechnung der Fadenkraft nach der Einhängvorrichtung

Mittels Seilreibung, die das Glasroving um die Stiftrreihen erfährt, werden die Kräfte ( $F_C$ ) für jede Variante ermittelt. Bei der Kraftberechnung sind die horizontalen Stifte um  $45^\circ$  (Bogenmaß 0,7854) umschlungen. Bei der Paarung Stifte/Glasroving wird ein Reibungskoeffizient ( $\mu$ ) von 0,3 angenommen.

#### Schusslegesystem senkrecht zur Vorschubrichtung

$$F_{\text{Einhäng}} = \frac{F_{\text{Fadenspann}}}{e^{(\mu(v)*\alpha)}} = \frac{10 \text{ N}}{e^{(0,3*0,7854)}} = \underline{7,9 \text{ N}}$$

$$F_C = \frac{F_{\text{Einhäng}}}{e^{(\mu(v)*\alpha)}} = \frac{7,9 \text{ N}}{e^{(\mu(v)*0,7854)}} = \underline{\underline{6,24 \text{ N}}}$$

#### Schusslegesystem im Winkel von $45^\circ$ zur Vorschubrichtung

$$F_{\text{Einhäng}} = \frac{F_{\text{Fadenspann}}}{e^{(\mu(v)*\alpha)}} = \frac{10 \text{ N}}{e^{(0,3*0)}} = \underline{10 \text{ N}}$$

$$F_C = \frac{F_{\text{Einhäng}}}{e^{(\mu(v)*\alpha)}} = \frac{10 \text{ N}}{e^{(\mu(v)*0,7854)}} = \underline{\underline{7,9 \text{ N}}}$$

Die Berechnungen in den nachfolgenden Kapiteln basieren auf  $F_C = 7,9 \text{ N}$  pro Glasroving.

## 9 Untersuchung der Legereinsatzvariante XI

Im Ergebnis des Variantenvergleiches (siehe Punkt 6.4) wird nun die Legereinsatzvariante XI näher untersucht (Abbildung 56).

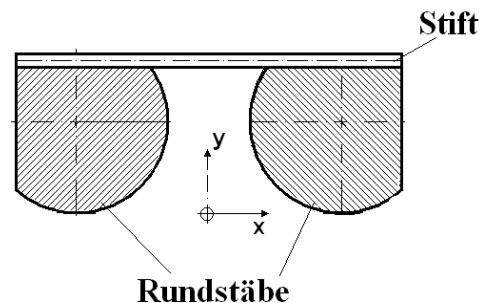


Abbildung 56: Legereinsatzvariante XI

Da der Legereinsatz im letzten Fertigungsschritt mit Hartstoff beschichtet wird, können weichere Materialien zur Legereinsatzherstellung verwendet werden.

### 9.1 Werkstoffliche Möglichkeiten

An die Auswahl der Rundstäbe sind folgende Anforderungen gestellt:

- genügend große Festigkeitswerte,
- Durchmesser = 10 mm,
- gute Zerspanbarkeit.

Durch Internetrecherche wurden folgende Rundstäbe ausgewählt (Tabelle 12).

Tabelle 12: Zusammenstellung des Grundmaterials

	<b>S235JR 1.0037</b>	<b>16MnCr5 1.7131</b>
Abmessung des Rundstabes [mm]	10 x 3000	10 x 3000
Preis [€/kg]	152,00 (80 - 200 kg)	195,00 (< 25 kg)
Gewicht [kg/m]	0,617	0,62
Zugfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ] /7; Seite 1; TB 1-1/	360	900
Streckgrenze [N/mm <sup>2</sup> ] /7; Seite 1; TB 1-1/	235	630
Biegefestigkeit (wechselnd) [N/mm <sup>2</sup> ] /7; Seite 1; TB 1-1/	180	450
Händler	<a href="http://www.siebert-huenfeld.de">www.siebert-huenfeld.de</a>	<a href="http://www.bücher-handel.de">www.bücher-handel.de</a>
Stand	19.06.2009, 11:00 Uhr	19.06.2009, 11:15 Uhr

Da der S235JR in Bezug auf die Anschaffungskosten am günstigsten ist, wird vorrangig dieser untersucht.

## 9.2 Untersuchung von verschleißfesten Schichten

Der Legereinsatz für Glasrovings unterliegt in der Anwendung einem hohen abrasiven Verschleiß. Diesem kann nur durch ausreichende Härte des Gegenkörpers (hier Legereinsatz) entgegen gewirkt werden.

In der Literatur findet sich ein Härtewert von 1200 HV für Glasfilamente. Das bedeutet, dass die Kontaktflächen eine höhere Härte aufbringen müssen, um nicht abrasiv beschädigt zu werden /Int. 12/.

Die Wahl eines geeigneten Beschichtungsverfahrens ist nicht nur von der erreichbaren Härte abhängig, sondern auch von Geometrie und den elektrischen Eigenschaften des Substrates (Legereinsatz). Beispielsweise fordert eine keramische Schicht Mindestradien von 0,7 mm. Da die verwendeten Stifte jedoch einen Durchmesser von 1 mm aufweisen, kann eine Keramiksicht nicht verwendet werden /Int. 11/.

Des Weiteren muss darauf geachtet werden, dass die Beschichtungstemperatur nicht den Lötwerkstoff beeinträchtigt. Folglich können die Verfahren Nitrieren und Härten zur Randschichtverfestigung nicht eingesetzt werden.

Das Aufbringen von galvanischen Schichten (Hartchrom) wird wegen der komplexen geometrischen Gestaltung dieser Legereinsatzvariante und dem Einfluss der Stromdichteverteilung auf die Schichtdickenverteilung nicht empfohlen.

Aus den oben genannten Gründen fällt die Entscheidung auf ein PVD- oder PECVD-Beschichtungsverfahren. Hierbei ist allerdings zu beachten, dass das Zink im Lot im Vakuum schnell verdampft /15; Seite 24/. Daher sollte auf Zink-freie Lote, wie zum Beispiel BrazeTec 6488, zurückgegriffen werden. Tabelle 13 zeigt einige in Betracht kommende Beschichtungen, die mittels PVD- oder PECVD-Verfahren erzeugt werden.

Tabelle 13: Zusammenstellung für eine Beschichtung

	<b>Beschichter</b>	<b>Verfahren</b>	<b>Härte [HV<sub>0,05</sub>]</b>	<b>Abscheidungstemperatur [°C]</b>
TiN	Ionbond Sachsen (Hohenstein- Ernstthal)	PVD	2500	300 /9; Seite 42/
TiCN		PVD	3000	300 /9; Seite 42/
DLC		PECVD	3500	200
PlascoDUR	PlasCoaTec (Wuppertal)	PECVD	3000 - 4000	180

Die Beschichtungsbestandteile stammen beim PVD-Verfahren aus einer fest lokalisierten Quellregion, weshalb die Wahrscheinlichkeit erhöht ist, dass die Schicht nicht die gesamte Oberfläche bedeckt (Schattenbildung).

Anders verhält es sich beim PECVD-Verfahren, wo die schichtbildende Gasphase sich gleichmäßig um das Substrat verteilt. Bei Bauteilen mit komplizierten Geometrien ist diese Art der Beschichtung zu bevorzugen. Ein weiterer Vorteil, neben der geringeren Abscheidungstemperatur, ist der Selbstreinigungseffekt, der im selben Bearbeitungszyklus stattfinden kann /Int. 14/.

Da im Vorfeld dieser Arbeit bereits zwei 8“-Legereinsätze (einer mit TiN und einer mit TiCN) beschichtet wurden und diese keine Schattenbildung aufwiesen, können die Verfahren angewendet werden. Allerdings wird die TiN-Schicht favorisiert, weil deren Härte im Vergleich zu anderen Hartstoffschichten (Tabelle 13) geringer ist. Bei einem zu großen Härteunterschied zwischen Substrat und Schicht kann es bei Druckbelastung zu Abplatzungen der relativ dünnen Beschichtung kommen. Da der Legereinsatz auch auf Biegung beansprucht wird, ist es ratsam eine Schicht zu wählen, die nicht so hohe Härtewerte aufweist.

### 9.3 Bestimmung der Winkelmaße und der Kraftrichtung

Abbildung 57 soll die Vorgehensweise zur Berechnung der Kräfte und Umschlingungswinkel verdeutlichen.

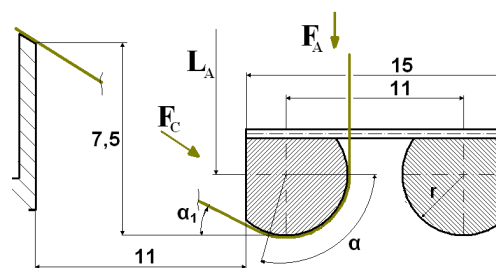


Abbildung 57: Berechnung der Kraftrichtung der Variante XI

Der Winkel  $\alpha_1$  wird nach folgender Formel berechnet:

$$\tan \alpha_1 = \frac{\text{Gegenkathete}}{\text{Ankathete}} \Rightarrow \alpha_1 = \tan^{-1} \left( \frac{7,5 \text{ mm}}{11,5 \text{ mm}} \right) = \underline{\underline{30,96^\circ}}$$

Damit ergibt sich ein Umschlingungswinkel für das Umlenkelement von ca.  $121^\circ$  ( $90^\circ + \alpha_1$ , Bogenmaß 2,11). Die Bestimmung der einzelnen Kräfte erfolgt nach dem Prinzip der Seilreibung. Die Kraft  $F_C$  wurde bereits ermittelt (siehe Punkt 8) und soll hier als Grundlage für die weitergehende Berechnung dienen. Die Kraft  $F_A$  wird unter der Bedingung, dass der Reibungskoeffizient zwischen Rundstab und Glasroving 0,3 beträgt, errechnet.

$$\frac{F_C}{F_A} = e^{(\mu(v)^*\alpha)} \Rightarrow F_A = \frac{F_C}{e^{(\mu(v)^*\alpha)}} = \frac{7,9 \text{ N}}{e^{(0,3*2,115)}} = \underline{4,19 \text{ N}}$$

Die anschließende Berechnung der Reibkräfte setzt voraus, dass die freien Stecken vor und nach der Umlenkung bekannt sind, wobei  $L_A$  mit 300 mm angenommen wird und  $L_C$  sich wie folgt ermittelt:

$$L_C = \sqrt{(7,5 \text{ mm} - 1,5 \text{ mm} * \sin 30,96^\circ)^2 + (11,5 \text{ mm} - 1,5 \text{ mm} * \cos 30,96^\circ)^2}$$

$$L_C = \underline{12,23 \text{ mm}}$$

Mit diesen Werten kann nun die Reibkraft und deren Normalkraft bestimmt werden.

$$F_{reib} = (e^{\mu(v)^*\alpha} - 1) \frac{L_A F_C + L_C F_A}{L_A e^{\mu(v)^*\alpha} + L_C}$$

$$F_{reib} = (e^{(0,3*2,11)} - 1) \frac{300 \text{ mm} * 7,9 \text{ N} + 12,23 \text{ mm} * 4,19 \text{ N}}{300 \text{ mm} * e^{(0,3*2,11)} + 12,23 \text{ mm}} = \underline{\underline{3,71 \text{ N}}}$$

Da die Normalkraft immer senkrecht zur Reibkraft liegt, kann diese nach unten stehender Gleichung bestimmt werden:

$$F_N = F_{result} = \frac{F_{reib}}{\mu(v)} = \frac{3,71 \text{ N}}{0,3} = \underline{\underline{12,37 \text{ N}}}$$

Für die späteren Berechnungen wird die Normalkraft nun in x- und y-Richtung aufgeteilt.

$$F_{result_x} = F_{result} * \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) = 12,37 \text{ N} * \cos\left(\frac{121^\circ}{2}\right) = \underline{6,18 \text{ N}}$$

$$F_{result_y} = F_{result} * \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) = 12,37 \text{ N} * \sin\left(\frac{121^\circ}{2}\right) = \underline{10,71 \text{ N}}$$

Diese Werte sind die Basis für den Festigkeitsnachweis des Legereinsatzes.

## 9.4 Flächenschwerpunkte und Widerstandsmoment

Die Berechnung des Flächenschwerpunktes (Abbildung 58) und die damit verbundene Lokalisierung der Biegelinie ( $y_0$ ) erfolgt mittels Online-Berechnungsprogramm /Int. 6/.

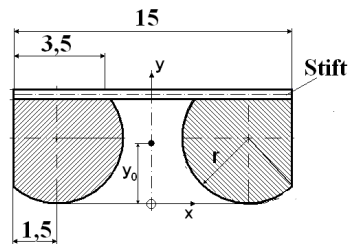


Abbildung 58: Skizze zur Berechnung von I und  $y_0$

Die Ermittlung des axialen Flächenmomentes ( $I$ ) wurde für den Querschnitt mit und ohne Stift durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 14 zusammengetragen.

Tabelle 14: Zusammenfassung der axialen Flächen und Widerstandsmomente

	Querschnitt mit Stift	Querschnitt ohne Stift
$I_x^{\text{Querschnitt}}$	$852,12 \text{ mm}^4$	$640,13 \text{ mm}^4$
$I_y^{\text{Querschnitt}}$	$2809,6 \text{ mm}^4$	$2528,4 \text{ mm}^4$
Schwerpunktabstand in $y_0$	$5,325 \text{ mm}$	$4,82 \text{ mm}$
$W_x^{\text{Querschnitt}} = \frac{I_x^{\text{Querschnitt}}}{e_x}$	$\frac{852,12 \text{ mm}^4}{5,325 \text{ mm}} = 160,02 \text{ mm}^3$	$\frac{640,13 \text{ mm}^4}{4,82 \text{ mm}} = 132,79 \text{ mm}^3$
$W_y^{\text{Querschnitt}} = \frac{I_y^{\text{Querschnitt}}}{e_y}$	$\frac{2809,6 \text{ mm}^4}{7,5 \text{ mm}} = 374,6 \text{ mm}^3$	$\frac{2528,4 \text{ mm}^4}{7,5 \text{ mm}} = 337,12 \text{ mm}^3$

Anhand der ermittelten Werte ist ersichtlich, dass das Widerstandsmoment ( $W$ ) in Abhängigkeit zum Randfaserabstand ( $e_x$  bzw.  $e_y$ ) steht und beim Querschnitt ohne Stift geringer als beim Querschnitt mit Stift ist.

## 9.5 Biegespannung

Die Berechnung der Biegespannung erfolgt beispielhaft für einen 12“-Legereinsatz mit einer Feinheit von 12 E (Anhang III) und einer Anzahl von 100 Glasrovings, die sich

zum Einen auf einer Seite des Legereinsatzes befinden (Abbildung 59) und zum Anderen gleichmäßig über die gesamte Legereinsatzbreite verteilen (Abbildung 60).

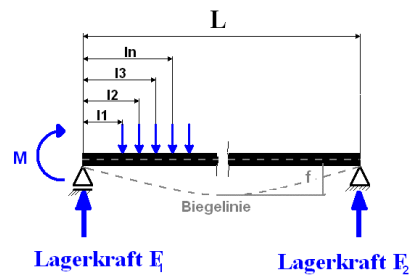


Abbildung 59: Fadenschar einseitig

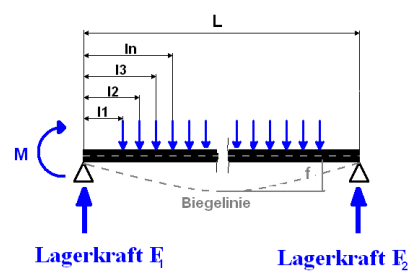


Abbildung 60: Fadenschar gleichmäßig verteilt

Im Falle, dass sich die Fadenschar nur auf einer Seite befindet, entstehen unterschiedlich große Lagerkräfte. Die Lagerkraft ist kleiner, wenn die Fadenschar über die gesamte Legereinsatzbreite verteilt ist. Somit wird für den Festigkeitsnachweis (Anhang III) die größte Lagerkraft der Berechnung zu Grunde gelegt.

Aus den Berechnungen in Anhang III geht ein maximales Biegemoment an jener Stelle hervor, an der der 58. Glasroving geführt wird.

In Tabelle 15 sind die errechneten Werte für die x- und y-Richtung zusammengefasst.

Tabelle 15: Ergebnisse der Berechnung der Biegespannung

	<b>Biegemoment [Nmm]</b>	<b>Biegespannung [N/mm<sup>2</sup>]</b>
in x-Richtung	28326,1	84
in y-Richtung	49096,1	369,74

Es ergibt sich, dass S235JR der Belastung nicht Stand hält und deshalb auf 16MnCr5 zurückgegriffen werden muss.

Von praktischer Relevanz ist nicht nur die Frage nach der Festigkeit, sondern auch die nach der maximalen Durchbiegung ( $f_m$ ), die sich in der Mitte des Legereinsatzes aus der Summe der Durchbiegungen der jeweils angreifenden Kräfte errechnet.

$$f_{m_{\text{gesamt}}} = f_m^{\text{Glasroving 1}} + f_m^{\text{Glasroving 2}} + \dots + f_m^{\text{Glasroving 100}}$$

Aus den einzelnen Werten der Durchbiegung wird durch einfache Addition die maximale Durchbiegung errechnet (Tabelle 16).

Tabelle 16: Ergebnisse der Durchbiegungsberechnung

	$f_m$ [mm]
in x-Richtung (einseitig verteilte Fadenschar)	0,65
in y-Richtung (einseitig verteilte Fadenschar)	3,8
in x-Richtung (gleichmäßig verteilte Fadenschar)	0,56
in y-Richtung (gleichmäßig verteilte Fadenschar)	3,4

Anhand der Werte aus Tabelle 16 lässt sich erkennen, dass die maximale Durchbiegung dann auftritt, wenn die Fadenschar einseitig über den Legereinsatz verteilt ist. Die Durchbiegung in y-Richtung ist sehr groß (3,8 mm bzw. 3,4 mm), weshalb diese durch konstruktive Maßnahmen verringert werden muss. Karl Mayer MALIMO verwendet dafür einen Niederhalter. Dieses Bauteil (Flachstück mit 2 Bohrungen) wird am Schusslegesystem befestigt und liegt mittig auf dem Legereinsatz auf.

## 9.6 Befestigung der Stifte

Zur Fadenseparierung bei dieser Variante wurde für den Stift C80W1 ausgewählt. Dabei ist dieser am kostengünstigsten und wird in eine Kerbe eingelötet (siehe Punkt 7.3.3). Da diese Stiftverbindung die erforderliche Überlapplänge von 6,8 mm erfüllt, bedarf es keiner zusätzlichen Brücke zwischen den Rundstäben.

Wie aus Abbildung 61 ersichtlich, kann die Reibkraft das Glasrovings den Stift auf Torsion beanspruchen, so dass die Lötstelle abgeschert werden kann.

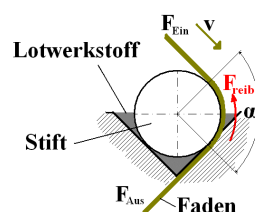


Abbildung 61: Angreifende Kräfte an Stift

In Anhang IV ist der Festigkeitsnachweis für diese Beanspruchung aufgeführt und erfüllt worden. Für die Berechnung wurde davon ausgegangen, dass die gesamte



Fadenspannkraft ( $F_{\text{Aus}} = 10 \text{ N}$ ) an dem Stift wirkt. Dies tritt ein, wenn der Legereinsatz die Fadenschar um die horizontale Stiftreihe legt.

## 9.7 Befestigung mit angedrehtem Zapfen

Die Befestigung des Legereinsatzes am Halter (interne Benennung laut Zeichnung: „AUFNAHME-LEGEREINSATZ-PIN-PIN“) erfolgt mit einem angedrehten Zapfen. Dieser Halter (S235JR) besitzt ein Bohrungsstichmaß von 8 mm. Deshalb muss der Zapfen um 1,5 mm außerhalb der Rundstabmitte angedreht werden (Abbildung 62).

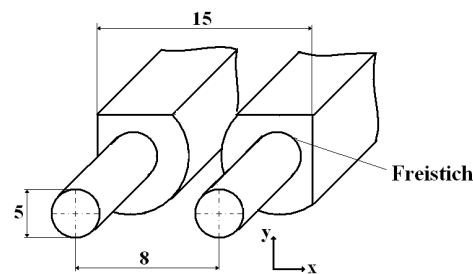


Abbildung 62: Prinzipskizze der Zapfen

Am Übergang zwischen Zapfen ( $d = 5 \text{ mm}$ ) und dem größeren Durchmesser ( $d = 10 \text{ mm}$ ) muss ein Freistich (DIN 509; Form F) angebracht werden. Dieser hat die Aufgabe die Spannungslinien im Material weich umzulenken, um so die Kerbwirkung zu kompensieren. Der Freistich nach DIN 509 reduziert den Zapfendurchmesser an der Übergangsstelle um 0,2 mm. Für die Berechnungen am gefährdeten Querschnitt wird daher ein Zapfendurchmesser von 4,8 mm eingesetzt (Anhang V).

Diese Legereinsatzvariante besitzt zwei parallele Zapfen pro Seite, weshalb zwei verschiedene Widerstandsmomente (x- und y-Richtung) existieren (Abbildung 63).

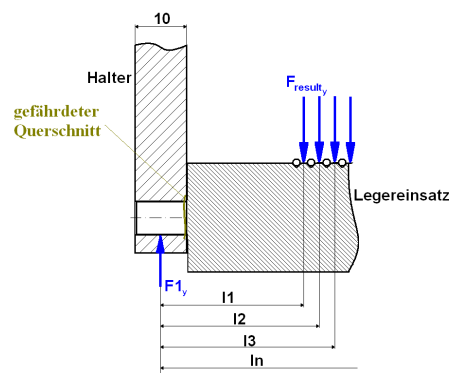


Abbildung 63: Skizze zur Berechnung des Zapfens

Der Festigkeitsnachweis ist in Anhang V aufgeführt und wurde erfüllt.

## 9.8 Spanende Bearbeitung

Beispielhaft soll hier die Herstellung eines 12“-Legereinsatzes mit einer Feinheit von 12 E veranschaulicht werden.

Das Rohmaterial des Legereinsatzes ist ein Rundstab aus 16MnCr5 mit einem Durchmesser von 10 mm, der bereits auf 354 mm abgelängt wurde.

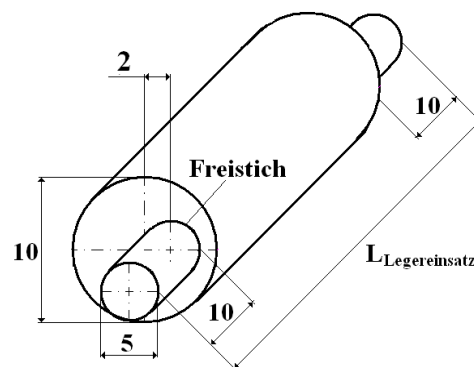


Abbildung 64: Skizze des Drehteils

Um eine stabile Werkstückspannung (ohne den Einsatz einer Spitze) zu gewährleisten, muss die Auskraglänge kleiner als der doppelte Durchmesser sein. Folglich sollte der Rundstab nicht mehr als 20 mm aus dem Backenfutter herausragen.

Zur Herstellung des Zapfens muss das Werkstück um 2 mm außerhalb der Drehmitte gespannt sein. Diese Exzentrizität kann durch Verstellen der Backen im Futter realisiert werden.

Die für die Drehbearbeitung ausgewählten Werkzeuge sind in folgender Tabelle (Tabelle 17) zusammengestellt /Int. 17/.

Tabelle 17: Werkzeuge für die Drehbearbeitung

	Preis [€]	DIN	Werkstoff	Bestellnummer	f [mm]
Stirndrehmeißel rechts	3,80	4977	P30	1826716P30	0,4
			P25	1826716P25	0,4
Eckdrehmeißel rechts	4,30	4978	P25	1827716P25	0,4

Anhand dieser Werkzeugauswahl kann nun die Bearbeitungszeit ( $t_H$ ) für den Drehprozess ermittelt werden (Anhang VI). Die Bearbeitungsabfolge ist in Tabelle 18 dargelegt.

Tabelle 18: Arbeitgänge beim Drehen (pro Rundstab)

1. Arbeitsgang: Drehen	Benennung	Werkzeug	Bearbeitungszeit $t_H$ [min]
1.1	Planen (1. Stirnfläche)	Stirndrehmeißel P30	$1,9 \cdot 10^{-3}$
1.2	Zapfen schrappen	Stirndrehmeißel P30	$3,77 \cdot 10^{-3}$
1.3	Zapfen schlichten	Stirndrehmeißel P25	$2,07 \cdot 10^{-3}$
1.4	Freistich	Eckdrehmeißel P25	$3,14 \cdot 10^{-4}$
1.5	Planen (2. Stirnfläche)	Stirndrehmeißel P30	$1,9 \cdot 10^{-3}$
1.6	Zapfen schrappen	Stirndrehmeißel P30	$3,77 \cdot 10^{-3}$
1.7	Zapfen schlichten	Stirndrehmeißel P25	$2,07 \cdot 10^{-3}$
1.8	Freistich	Eckdrehmeißel P25	$3,14 \cdot 10^{-4}$
Gesamte Bearbeitungszeit			0,022

Nach dem Prozessschritt des Drehens, der eine Bearbeitungszeit von 0,044 min in Anspruch nimmt (für zwei Rundstäbe), werden die Drehteile paarweise auf einer Fräsvorrichtung fixiert und im Anschluss auf einer CNC-Fräsmaschine bearbeitet.

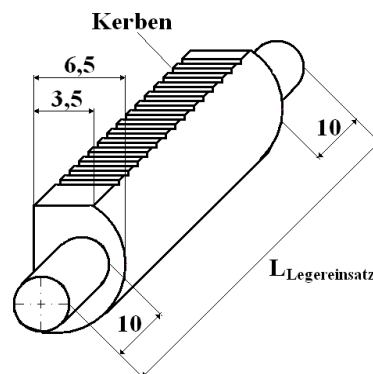


Abbildung 65: Fräsen der Rundstäbe

Für diesen Fertigungsprozess wurden für die Berechnung der Bearbeitungszeit (Anhang VII) folgende Werkzeuge ausgewählt (Tabelle 19).

Tabelle 19: Zusammenstellung der Fräswerkzeuge

	Preis [€]	Stand		f [mm]	$v_c$
FORUM D844KHSSE 8 mm	6,30	08.07.2009	www.mercateo.de	0,11	24
FORUM D844KHSSE 10 mm	7,30	08.07.2009		0,11	24
FORUM D844KHSSE 16 mm	13,99	08.07.2009		0,16	24

Die Arbeitgänge des Fräsen sind in Tabelle 20 aufgeführt. Die Errechnung der dazugehörigen Fräsbearbeitungszeit ist Anhang VII zu entnehmen.

Tabelle 20: Arbeitsgänge beim Fräsen

<b>2. Arbeitsgang: Fräsen</b>	<b>Benennung</b>	<b>Werkzeug</b>	<b>Bearbeitungszeit <math>t_H</math> [min]</b>
2.1	Fräsen der Seiten	FORUM D844KHSSE 10 mm	2,1
2.2	Fräsen oben	FORUM D844KHSSE 16 mm	2,3
2.3	Kerben fräsen	FORUM D844KHSSE 8 mm	8,4
<b>Gesamte Bearbeitungszeit</b>			12,8

Die Montage des Legereinsatzes (12“, 12 E) soll wie folgt durchgeführt werden. Vor Beginn des Fügens müssen die Einzelteile entgratet und gereinigt werden, damit ein problemloses Fügen stattfinden kann. Zudem ist der Grundkörper auf eventuellen Verzug zu prüfen und dieser gegebenenfalls zu beseitigen.

Der Prozess stellt sich wie folgt dar (Tabelle 21).

Tabelle 21: Arbeitsgänge beim Fügen

<b>3. Arbeitsgang: Fügen</b>	<b>Beschreibung</b>	<b>Hilfsmittel</b>
3.1	Prüfen der Einzelteile	Lineal, Messschieber
3.2	Entfetten und Reinigen	Reiniger, Aceton
3.3	Stifte in die Kerben positionieren	Messschieber, Distanzstück
3.4	Flussmittel aufbringen	BrazeTec h80
3.5	Löten	BrazeTec 6488
3.6	Reinigen	Reiniger

Im letzten Schritt wird der Legereinsatz mit TiN beschichtet. Diese Beschichtung wird vom Kooperationspartner Ionbond Sachsen (Hohenstein-Ernstthal) durchgeführt.

## 9.9 Erprobung

Nach der Fertigstellung des Legereinsatzes erfolgt die Erprobung unter Standbedingungen (siehe Punkt 4) und somit die Ermittlung des Standvermögens. Zudem wird geprüft, ob es infolge eines Härteunterschiedes zwischen Substrat und Schicht zu einer Abplatzung kommen kann und ob die sehr harte Beschichtung der Biegebelastung standhält.

Ist die Erprobung mit Erfolg verbunden, kann dieser Legereinsatz für den Markt freigegeben werden.

## 10 Untersuchung der Legereinsatzvariante XII

Die Legereinsatzvariante XII (Abbildung 66) aus dem Variantevergleich (siehe Punkt 6.4) wird im Folgenden näher untersucht. Die Grundidee ist die Umlenkelemente und Stifte aus Werkstoffen zu fertigen, die eine höhere Härte als 1200 HV (Härte von Glasfilamenten) aufweisen und somit eine Beschichtung mit Hartstoffen überflüssig machen.

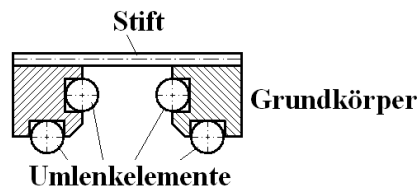


Abbildung 66: Variante XII

Aus wirtschaftlicher Sicht ist es einfacher ein Halbzeug als Umlenkelement zu verwenden. Dabei wird ein Außendurchmesser von etwa 3 mm und eine polierte Oberfläche festgelegt.

### 10.1 Keramikwerkstoffe als Umlenkelemente

Technische Keramiken sind anorganisch und nichtmetallisch und basieren auf Aluminium- und Zirkoniumoxidverbindungen sowie auf Quarzporzellan. Im Textilmaschinenbau werden wegen des hohen Verschleißwiderstandes und der hohen Oberflächengüte häufig Keramiken eingesetzt. Der Härtebereich für diesen Werkstoff liegt zwischen 1200 bis 3200 HV, allerdings ist dieser preislich intensiver als Stahl und sollte deshalb zielgerichtet und wirtschaftlich ausgenutzt werden.

Für die Konstruktion ist zu beachten, dass keramische Bauteile empfindlicher auf Kerben reagieren als Metallische. Keramiken sollten zudem auf Druckbelastung ausgelegt werden. Spannungsspitzen, Punktlasten oder Stoßbeanspruchung sind zu vermeiden. Bei Verbindungen mit metallischen Werkstoffen ist der unterschiedliche Wärmeausdehnungskoeffizient zu berücksichtigen, bei Pressverbindungen sollte die Keramik als Innenteil Verwendung finden.

In der Industrie kann dieser Werkstoff mit Metallen verklebt, verschraubt, verlötet und geklemmt werden. Das Löten von Keramiken erfordert in den meisten Fällen eine Metallisierung der Oberfläche. Dies geschieht beispielsweise mittels Flamspritzen (Schoopen), Sputtern (PVD-Verfahren), Einbrennen von Metallpasten und

anschließender galvanischer Beschichtung sowie mit außenstromlosen Beschichtungsverfahren. Bei Einsatz eines Aktivlotes kann auf eine Metallisierung verzichtet werden.

Tabelle 22 zeigt einige Aktivlote (Hochtemperaturlote), die zur Befestigung mit metallischen Werkstoffen verwendet werden können.

Tabelle 22: Zusammenstellung von Aktivloten für Keramiken

	<b>Siliziumnitrid</b>	<b>Keramiken, Metallkeramiken</b>
Lotwerkstoff	BrazeTec CB6	BrazeTec CB2
Schmelzbereich [°C]	948 - 959	970
Arbeitstemperatur [°C]	1050	1000 - 1050
Atmosphäre	Argon, Vakuum	Argon, Vakuum

Das Aktivlot kann auf Grund der hohen Arbeitstemperaturen nicht eingesetzt werden, da es zu einer Beeinträchtigung des Legereinsatzes kommt (Gefügeveränderung, Verzug, usw.).

Das Verkleben von technischen Keramiken mit Metall eignet sich als stoffschlüssige Verbindung am besten. Eine Auswahl an in Betracht kommender Klebstoffen ist in Tabelle 23 zusammengestellt.

Tabelle 23: Zusammenstellung von Klebstoffen für Keramiken

	<b>UHU plus endfest 300 Tube Binder, Tube Härter (163 g)</b>	<b>UHU plus schnellfest Doppelkammersystem Kartusche (50 ml)</b>
Topfzeit [min]	90	5
Preis [€]	20,67	11,84
Händler	www.uhu-profishop.de	
Stand	23.06.2009; 14:00 Uhr	

Keramische Werkstoffe finden derzeit noch keine Verwendung, da die benötigte Legereinsatzlänge von 12“ (304,8 mm) nicht lieferbar ist.

## 10.2 Hartmetallwerkstoff als Umlenkelemente

Hartmetalle sind gesinterte Verbundwerkstoffe aus metallischen Hartstoffen und einer Bindematrix. Dieser Verbundwerkstoff besitzt einige extreme Eigenschaften, wie zum Beispiel einen Härtebereich von ca. 1750 HV<sub>30</sub> bei einer gleichzeitigen Biegefestigkeit von ungefähr 3880 N/mm<sup>2</sup> („Carbidur 902“) /Int. 18/. Aus dem Produktsortiment von

Carbidur Hartmetall GmbH & Co KG wurde ein Rundstab ausgewählt, dessen Eigenschaften nachfolgend zusammengefasst sind (Tabelle 24).

Tabelle 24: Zusammenstellung der Eigenschaften von „Carbidur 902“

	<b>Hartmetall</b>
Firmenbezeichnung	Carbidur 902
lieferbare Abmessungen [mm]	Durchmesser = 3; Länge = 320
Härte [HV <sub>30</sub> ]	1750
Biegefestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	3880
Oberfläche	Poliert
Preis [€]	8,00
Händler	www.carbidur.de
Stand	24.06.2009; 7:30 Uhr
Preis pro Legereinsatz [€]	24,00

Die Verbindung zwischen dem Grundkörper des Legereinsatzes und dem Hartmetall als Umlenkelement kann durch Hartlöten und Kleben realisiert werden.

Für das Hartlöten des Hartmetalls (Carbidur 902) und Stahl als Grundwerkstoff empfiehlt das Unternehmen Carbidur Hartmetall GmbH & Co KG ein Silberlot (Stab d = 1,5 x 500 mm; 5,20 €; Stand: 28.06.2009) und dazu ein spezielles Flussmittel (50 ml; 12,50 €; Stand: 28.06.2009). Dieser Hartlötvorgang benötigt eine Löttemperatur von 750°C. Alternativ kann ein preiswerteres Kupferlot eingesetzt werden, dessen Löttemperatur allerdings bei 1100°C liegt. Von Nachteil ist, dass Hartmetalle schwierig zu benetzen sind und deshalb das Lot mit benetzungsfördernden Zusätzen wie Nickel und Mangan zu versehen ist. Ein weiteres Problem dieser Verbindung ist der große Unterschied der thermischen Ausdehnungskoeffizienten von Hartmetall und Stahl. Bei Abkühlung der Lötstellen kommt es zu Spannungen, die zu Rissen im Hartmetall oder zu einem Bauteilverzug führen können.

Aus diesem Grund werden Klebverbindungen bevorzugt angewandt. Für Klebverbindungen mit dem Hartmetall Carbidur empfiehlt Carbidur Hartmetall GmbH & Co KG einen speziell entwickelnden Einkomponentenklebstoff auf der Basis von Cyanacrylat bzw. Dimethacrylat. Der RK-1300-Konstruktionsklebstoff mit Aktivator (60 g; 24,70 €; Stand: 28.06.2009) ist in einem Temperaturbereich von -30 bis 120°C einsetzbar und kalthärtend.

Das Ablängen dieser Hartmetallstäbe kann mit einer Diamant-Trennscheibe 175 x 22 x 1,2 mm D126 (235,00 €; www.carbidur.de; Stand: 31.07.2009) durchgeführt werden.

### 10.3 Gestaltungsmöglichkeiten des Grundkörpers

Die Gestaltung des Grundkörper bei Variante XII wird so realisiert, dass die Umlenkelemente positioniert und befestigt werden können (Abbildung 67). Dabei werden die Nuten mit Hilfe eines Schlitzfräasers (Orion HSSE5 DIN 850 geradverzahnt 3 x 10,5; 32,00 €; [www.mercateo.de](http://www.mercateo.de); Stand: 22.05.2009) oder Scheibenfräasers (FORUM D1834A HSSE 63 x 3; 59,31 €; [www.mercateo.de](http://www.mercateo.de); Stand: 15.06.2009) eingebracht. Der Scheibenfräser kann nur zur Anwendung kommen, wenn der Grundkörper aus zwei Teilen besteht.

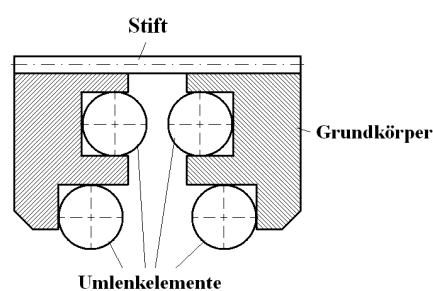


Abbildung 67: Nutgestaltung der Variante XII

Bei der Nutherstellung ist zu beachten, dass ein Nachsetzen des Fräasers erforderlich ist, da die Breite des Werkzeuges nur 3 mm beträgt und die Nut wegen des erforderlichen Klebspaltes größer sein muss.

Auf Grund der relativ kleinen Abmessungen ist es sinnvoll den Grundkörper aus einem rechteckigen Halbzeug (Flachstab) herzustellen. Tabelle 25 zeigt eine Auswahl an Materialien für den Grundkörper.

Tabelle 25: Materialauswahl Grundkörper für Variante XII

	<b>S235JR 1.0037</b>	<b>16MnCr5 1.7131</b>
Abmessung [mm]	15 x 10 x 3000	20 x 10 x 6000
Preis [€/kg]	178,00 (80 bis 200 kg)	392,00 (unter 25 kg)
Gewicht [kg/m]	1,18	1,6
R <sub>m</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	360 /7; Seite 1; TB1-1a/	900 /7; Seite 2; TB1-1d/
R <sub>e</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	235 /7; Seite 1; TB1-1a/	630 /7; Seite 2; TB1-1d/
σ <sub>bWN</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	180 /7; Seite 1; TB1-1a/	450 /7; Seite 2; TB1-1d/
Händler	<a href="http://www.siebert-huenfeld.de">www.siebert-huenfeld.de</a>	<a href="http://www.bogner.co.at">www.bogner.co.at</a>
Stand	25.06.2009; 14:30 Uhr	26.06.2009; 8:10 Uhr



## 10.4 Bestimmung der Winkelmaße und der Kraftrichtung

Für die Dimensionierung der Bauteile und deren Festigkeitsberechnungen ist es notwendig die bei der Fadenumlenkung entstehenden Kräfte zu lokalisieren und zu bestimmen (Abbildung 68).

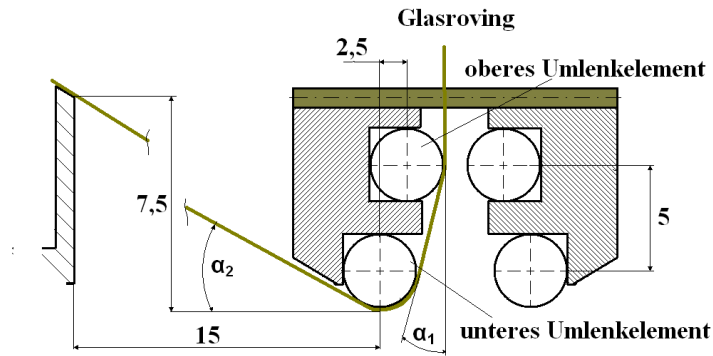


Abbildung 68: Skizze zur Berechnung der Winkel

$$\tan \alpha_1 = \frac{\text{Gegenkathete}}{\text{Ankathete}} \Rightarrow \alpha_1 = \tan^{-1} \left( \frac{2,5 \text{ mm}}{5 \text{ mm}} \right) = 26,56^\circ$$

$$\tan \alpha_2 = \frac{\text{Gegenkathete}}{\text{Ankathete}} \Rightarrow \alpha_2 = \tan^{-1} \left( \frac{7,5 \text{ mm}}{15 \text{ mm}} \right) = 26,56^\circ$$

Damit ergibt sich ein Umschlingungswinkel für das obere Umlenkelement von  $26,56^\circ$  (Bogenmaß 0,4635). Anhand der Abbildung 69 ergibt sich für das untere Umlenkelement ein Umschlingungswinkel von  $90^\circ$  (Bogenmaß 1,57).

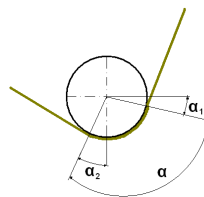


Abbildung 69: Winkel am unteren Umlenkelement

Die Berechnung der einzelnen Fadenkräfte kann nun durch den errechneten Umschlingungswinkel, den festgelegten Reibungskoeffizienten von 0,3 und der erforderlichen Kraft ( $F_C$ ) von 7,9 N erfolgen. Die nachfolgende Abbildung 70 zeigt die anliegenden Kräfte.

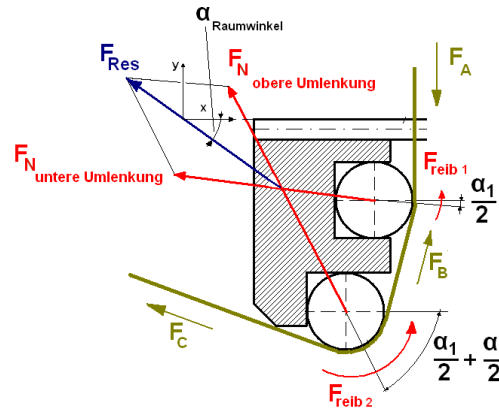


Abbildung 70: Skizze der Krafrichtung

Die einzelnen Kräfte werden nach dem Prinzip der Seilreibung ermittelt, wobei  $F_C > F_B > F_A$  gilt. Für die Berechnung wird davon ausgegangen, dass das Glasroving nicht an den Stiften reibt.

$$\frac{F_C}{F_B} = e^{(\mu(v)^*\alpha)} \Rightarrow F_B = \frac{F_C}{e^{(\mu(v)^*\alpha)}} = \frac{7,9 \text{ N}}{e^{(0,3*1,57)}} = \underline{4,93 \text{ N}}$$

$$F_A = \frac{F_B}{e^{(\mu(v)^*\alpha_1)}} = \frac{4,93 \text{ N}}{e^{(0,3*0,4635)}} = \underline{4,29 \text{ N}}$$

Zudem müssen die freien Stecken vor und nach der Umlenkung bekannt sein, um die Reibkräfte ermitteln zu können. Die freie Strecke  $L_A$  ist der Zusammenbauzeichnung des Legers entnommen. Die beiden anderen freien Stecken  $L_B$  und  $L_C$  wurden errechnet (Abbildung 69 und Abbildung 70).

$$L_A = 300 \text{ mm}$$

$$L_B = \sqrt{(5 \text{ mm})^2 + (2,5 \text{ mm})^2} = \underline{5,59 \text{ mm}}$$

$$L_C = \sqrt{(7,5 \text{ mm} - 0,69 \text{ mm} * \sin 26,56^\circ)^2 + (15 \text{ mm} - 0,69 \text{ mm} * \cos 26,56^\circ)^2}$$

$$L_C = \underline{16,08 \text{ mm}}$$

Mit den ermittelten Werten wird nun die Reibkraft und die darauf senkrecht stehende Normalkraft für die obere ( $F_{reib1}$ ) sowie die untere ( $F_{reib2}$ ) Umlenkung errechnet.

$$F_{reib_1} = \left( e^{\mu(v)\alpha_1} - 1 \right) \frac{L_A F_B + L_B F_A}{L_A e^{\mu(v)\alpha_1} + L_B}$$

$$F_{reib_1} = \left( e^{(0,3*0,4635)} - 1 \right) * \frac{300 \text{ mm} * 4,93 \text{ N} + 5,59 \text{ mm} * 4,29 \text{ N}}{300 \text{ mm} * e^{(0,3*0,4635)} + 5,59 \text{ mm}} = \underline{\underline{0,643 \text{ N}}}$$

$$F_{N_{\text{obere Umlenkung}}} = \frac{F_{reib_1}}{\mu(v)} = \frac{0,643 \text{ N}}{0,3} = \underline{\underline{2,14 \text{ N}}}$$

$$F_{reib_2} = \left( e^{\mu(v)\alpha} - 1 \right) \frac{L_B F_C + L_C F_B}{L_B e^{\mu(v)\alpha} + L_C}$$

$$F_{reib_2} = \left( e^{(0,3*1,57)} - 1 \right) * \frac{5,59 \text{ mm} * 7,9 \text{ N} + 16,08 \text{ mm} * 4,93 \text{ N}}{5,59 \text{ mm} * e^{(0,3*1,57)} + 16,08 \text{ mm}} = \underline{\underline{2,966 \text{ N}}}$$

$$F_{N_{\text{untere Umlenkung}}} = \frac{F_{reib_2}}{\mu(v)} = \frac{2,966 \text{ N}}{0,3} = \underline{\underline{9,88 \text{ N}}}$$

Wie in Abbildung 70 dargestellt, bilden die Normalkräfte eine resultierende Kraft ( $F_{\text{result}}$ ), die wiederum in die Raumrichtungen x und y zerlegt werden kann.

$$F_{\text{result}_x} = F_{N_{\text{obere Umlenkung}}} * \cos\left(\frac{\alpha_1}{2}\right) + F_{N_{\text{untere Umlenkung}}} * \cos\left(\frac{\alpha_1}{2} + \frac{\alpha}{2}\right)$$

$$F_{\text{result}_x} = 2,14 \text{ N} * \cos\left(\frac{26,56^\circ}{2}\right) + 9,88 \text{ N} * \cos\left(\frac{26,56^\circ}{2} + \frac{90^\circ}{2}\right) = \underline{\underline{7,28 \text{ N}}}$$

$$F_{\text{result}_y} = F_{N_{\text{obere Umlenkung}}} * \sin\left(\frac{\alpha_1}{2}\right) + F_{N_{\text{untere Umlenkung}}} * \sin\left(\frac{\alpha_1}{2} + \frac{\alpha}{2}\right)$$

$$F_{\text{result}_y} = 2,14 \text{ N} * \sin\left(\frac{26,56^\circ}{2}\right) + 9,88 \text{ N} * \sin\left(\frac{26,56^\circ}{2} + \frac{90^\circ}{2}\right) = \underline{\underline{8,9 \text{ N}}}$$

$$F_{\text{result}} = \sqrt{(F_{\text{result}_x})^2 + (F_{\text{result}_y})^2} = \sqrt{(7,28 \text{ N})^2 + (8,9 \text{ N})^2} = \underline{\underline{11,5 \text{ N}}}$$



## 10.6 Biegespannung am Querschnitt des Legereinsatzes

Die Berechnung der Biegespannung wird beispielhaft für einen 12“-Legereinsatz mit einer Feinheit von 12 E durchgeführt. Diese ist analog der Legereinsatzvariante XI (Tabelle 27) (siehe Punkt 9.5).

Tabelle 27: Ergebnisse der Biegespannung

	<b>Biegemoment [Nmm]</b>	<b>Biegespannung [N/mm<sup>2</sup>]</b>
in x-Richtung	33368,25	63,5
in y-Richtung	40805	340,5

Für die Praxis ist neben der Festigkeit auch die maximale Durchbiegung ( $f_m$ ) relevant. Die Berechnung erfolgt analog der Legereinsatzvariante XI (siehe Punkt 9.5).

Tabelle 28: Werte der maximalen Durchbiegung

	<b><math>f_m</math> [mm]</b>
in x-Richtung (einseitig verteilte Fadenschar)	0,9
in y-Richtung (einseitig verteilte Fadenschar)	2,4
in x-Richtung (gleichmäßig verteilte Fadenschar)	0,7
in y-Richtung (gleichmäßig verteilte Fadenschar)	2,2

Bei dieser Variante ist die Durchbiegung in y-Richtung, ähnlich wie bei Variante XI, sehr hoch. Deshalb muss auch in diesem Fall ein Niederhalter angebracht werden (siehe Punkt 9.5).

## 10.7 Befestigung der Stifte

Für die Funktion der Fadenseparierung bei dieser Variante wurde ein Stift aus Hartmetall (Carbidur 902) gewählt, der in einer Kerbe eingeklebt wird (siehe Punkt 7.3.2). Auf Grund der Nichterfüllung der erforderlichen Überlapplänge von 355 mm der Stiftverbindung, muss eine zusätzliche Brücke zwischen den zwei Frästeilen eingefügt werden. Wie aus Abbildung 72 ersichtlich, besteht die Möglichkeit der Beanspruchung der Stifte auf Torsion, so dass die Klebstelle abgeschert werden kann.

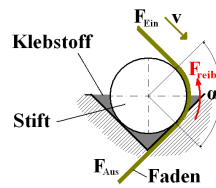


Abbildung 72: Angreifende Kräfte auf Klebverbindung

Im Ergebnis der Festigkeitsuntersuchung (Anhang IX) erfüllt die Klebverbindung die zulässigen Bedingungen und eignet sich somit für einen Einsatz.

## 10.8 Befestigung mittels Schraubverbindung

Zur Befestigung des Legereinsatzes am Halter werden 4 Zylinderschrauben DIN ISO 4762 M4 x 25 12.9 ausgewählt, die einen Kopfdurchmesser von 7 mm besitzen (Abbildung 73). Da hier 2 Schrauben pro Seite verwendet werden, wird die geforderte Legereinsatzbreite von 15 mm nicht überschritten. Das Verschrauben erfolgt bei diesem Schrauben-Typ mittels Sechskantschlüssel.

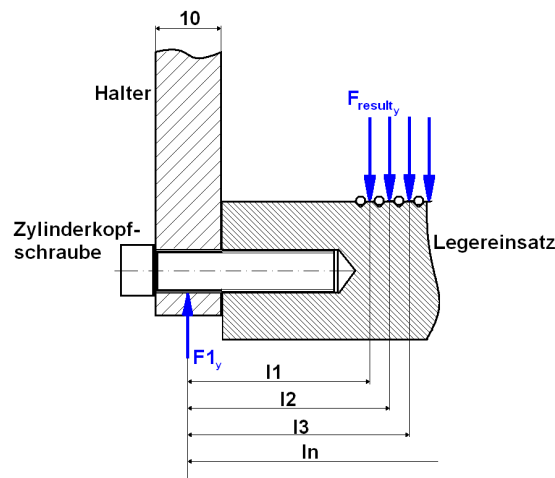


Abbildung 73: Befestigung des Legereinsatzes mit Schrauben

Zur Berechnung wird von einer Vorspannkraft von 6700 N /Int. 10/ und einer Spannkraft von 90% ausgegangen /7; Seite 88/.

$$F_{sp} = 90\% \cdot F_{VM} = 6700 \text{ N} \cdot 0,9 = \underline{\underline{6030 \text{ N}}} \quad /7; \text{ Seite 88/}$$

Der Festigkeitsnachweis der Schraubverbindung ist in Anhang X dargestellt. Da sich für diese Verbindung jedoch eine längere Montagezeit ergibt, wird im Folgenden die Verbindung mittels Zylinderstifte untersucht.

## 10.9 Befestigung am Halter mit Zylinderstiften

Die Befestigung des Legereinsatzes kann auch mit vier Zylinderstiften erfolgen, die paarweise auf jeder Seite angebracht werden (Abbildung 74). Diese Art der Verbindung sorgt beim Wechsel des Legereinsatzes für eine Verkürzung der Montagezeit.

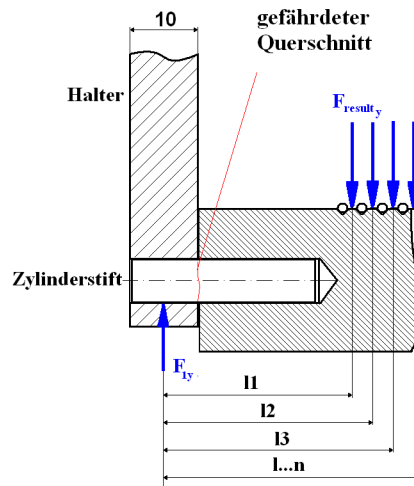


Abbildung 74: Skizze zur Bestimmung der Stiftdurchmesser

Die ausgewählten Zylinderstifte bestehen aus einem Werkstoff mit einer Mindestzugfestigkeit von 600 N/mm<sup>2</sup> (DIN 6325). Da am Halter für den Legereinsatz bereits Bohrungen (5,1 mm) eingebracht sind, fällt die Auswahl auf einen Zylinderstift mit einem Durchmesser von 5,00 mm. Tabelle 29 zeigt eine entsprechende Auswahl.

Tabelle 29: Zusammenstellung möglicher Zylinderstifte

	DIN 6325 M6 ST-Geh. 5 x 18 Zylinderstift	DIN 6325 5 x 18 mm, Zylinderstift, gehärtet
Preis pro 100 Stück [€]	8,95	12,01
Versand [€]	17,00	3,85
Lieferzeit	3 - 4 Tage	15 Tage
Toleranz	m6	m6
Zugfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	> 600	> 600
Händler	www.Schraubenhandel24.de	www.mercateo.com
Stand	23.06.2009; 9:15 Uhr	23.06.2009; 9:30 Uhr

Die Verbindung mittels Zylinderstift muss als Presspassung ausgelegt werden, da die Gefahr besteht, dass sich diese bei wechselnder Belastung löst. Da der Zylinderstift allerdings nur in der Toleranzklasse 5m6 lieferbar ist ( $G_{0W} = 5,012$  mm,  $G_{uW} = 5,004$  mm), muss eine Reibahle mit der Toleranzklasse 5K7 ( $G_{0B} = 5,001$  mm,  $G_{uB} = 4,996$  mm) zur Anwendung kommen. Die Standardgröße der Reibahlen ist jedoch

5H7 ( $G_{oB} = 5,012 \text{ mm}$ ,  $G_{uB} = 5 \text{ mm}$ ), weshalb es zu einer Übergangspassung kommt. Damit kann auch hier die Sicherheit der Verbindung bei wechselnder Belastung nicht gewährleistet werden. Verstellbare Reibahlen sind erst ab einem Durchmesser von 6 mm erhältlich.

Eine andere Möglichkeit ist der Einsatz von Klebstoffen. Dafür wurde der Klebstoff „UHU Wellen-/Nabensicherung hochfest HF 3550“ (11,34 €; 50 g; [www.uhu-profishop.de](http://www.uhu-profishop.de); Stand: 08.07.2009) gewählt. Das günstigste Fügspiel für diese Klebverbindung liegt bei 0,04 mm, das maximale Spaltfüllungsvermögen bei 0,13 mm. Für die Herstellung der Bohrung wird deswegen ein 5,05 mm-Hartmetallbohrer (6,90 €; [www.sorotec.de](http://www.sorotec.de); Stand: 08.07.2009) eingesetzt.

### 10.10 Brücke zur Unterstützung

Auf Grund des Verklebens der Hartmetallstifte (Carbidur 902) und der damit nicht ausreichenden Überlapplänge wird eine Brücke an beiden Enden des Legereinsatzes angebracht (Abbildung 75).

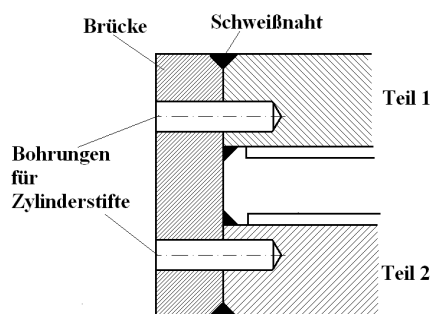


Abbildung 75: Geschweißte Brücke

Diese Brücke verbindet die zwei Legereinsatzhälften miteinander und wird durch Schweißen befestigt. Die Abschätzung der Schweißbeignung der Brücke basiert auf dem Kohlenstoffäquivalent ( $CE$ ). Dieses beträgt für 16MnCr5 maximal 0,63% (siehe Punkt 7.3.1). Da der Grenzwert der Schweißbeignung bei  $CE < 0,4$  liegt, ist es erforderlich, die Bauteile entweder vorzuwärmen ( $220^\circ\text{C}$ , /Int. 8/) oder die Streckenergie zu erhöhen. Anderenfalls kommt es zu einer Aufhärtung und Versprödung der Wärmeinflusszone.



### 10.11 Fräsen des Grundkörpers Variante XII

Die Herstellung dieses Frästeils wird anhand eines 12“-Legereinsatz aus 16MnCr5 mit einer Feinheit von 12 E dargestellt (Abbildung 76).

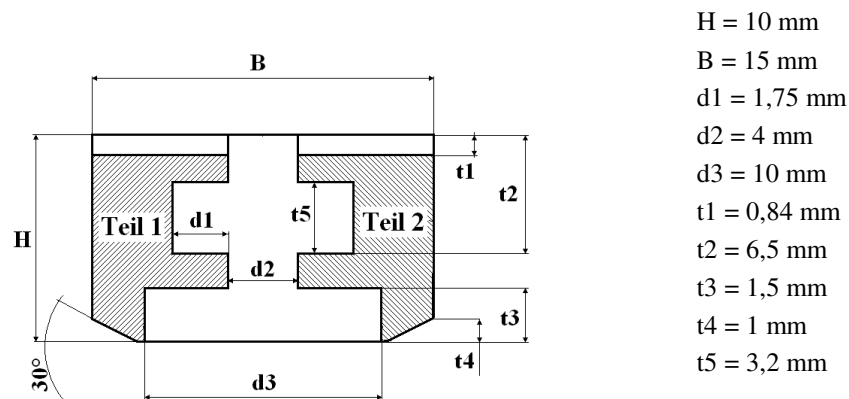


Abbildung 76: Skizze zur Fräsbearbeitung

Die Bearbeitung dieser Frästeile kann unter Verwendung der nachstehenden Werkzeuge erfolgen (Tabelle 30).

Tabelle 30: Werkzeugauswahl zum Fräsen

	Preis [€]	Stand	Händler	$f_z$ [mm]	$v_c$ [m/min]	Z
FORUM D844 KHSSE 8 mm	6,30	08.07.2009	www.mercateo.de	0,11	24	4
Metallkreissägeblatt HSS – feingezahnt 100 mm x 1,0 mm BADER	25,76	05.06.2009		0,02	55	128
Scheibenfräser D1834A HSSE 100 x 3,0 mm FORUM	80,59	11.07.2009		0,13	24	36
HM-Bohrer 5,05 mm	6,90	08.07.2009	www.sorotec.de	0,05	70	2

Die Herstellung der zwei Frästeile (Teil 1, Teil 2) mit den bereits genannten Werkzeugen wird nach folgenden Arbeitsschritten durchgeführt (Tabelle 31).

Tabelle 31: Arbeitsgänge beim Fräsen mit Bearbeitungszeit

Arbeitsgang	Benennung	Werkzeug	Bearbeitungszeit [min]
1	Sägen auf 320 mm	Kreisägeblatt 100 x 1	1,46
2	Sägen Brücke 14 mm	Kreisägeblatt 100 x 1	0,11
3	Sägen Brücke 15 mm	Kreisägeblatt 100 x 1	0,9
4	Fräsen Nuten (d1)	Scheibenfräser	3,64
5	Schweißen	Kooperation	
6	Fräsen Kerben	FORUM D844KHSSE 8 mm	7,2
7	Fräsen Nut (d3)	FORUM D844KHSSE 10 mm	14,2
8	Bohren	HM-Bohrer 5,05 mm	0,21
Gesamte Bearbeitungszeit			28,12

Die berechnete Bearbeitungszeit (Anhang XII) erfasst die Herstellung der zwei Teile pro Legereinsatz.

## 10.12 Montage des Legereinsatzes Variante XII

Eine Zusammenstellung der notwendigen Arbeitsgänge bei der Montage zeigt Tabelle 32. Vor Beginn des Fügens müssen die Einzelteile entgratet und gereinigt werden, damit ein problemloses Fügen möglich ist. Darüber hinaus ist der Grundkörper auf einen eventuellen Verzug zu prüfen und dieser, wenn vorhanden, zu beseitigen.

Tabelle 32: Arbeitsgänge bei der Montage

Arbeitsgang	Beschreibung	Werkzeug/ Prüfmittel
1	Prüfen der Einzelteile	Lineal, Messschieber
2	Entfetten und Reinigen	Reiniger, Aceton
3	4 Zylinderstifte (DIN 6325; 5 m6 x 24) in der Stirnseite einbringen	UHU Wellen-/Nabensicherung hochfest HF 3550
4	Umlenkelement einkleben (Carbidur 902)	RK-1300 Konstruktionsklebstoff mit Aktivator
5	Klebereste entfernen	Reiniger, Tuch
6	Stifte (Carbidur 902) in die Kerben einkleben	RK-1300 Konstruktionsklebstoff mit Aktivator
7	Klebereste entfernen	Reiniger, Tuch

## 10.13 Anschließende Erprobung

Der Legereinsatz der Variante XII muss vor Einführung auf dem Markt erprobt werden. Hierbei ist das Standvermögen unter Standbedingungen zu erfassen und die Klebverbindungen im Einsatz zu überprüfen. Letzteres wird von den Herstellern der Klebstoffe empfohlen, da die Festigkeitsangaben auf Laborbedingungen basieren.

## Gegenüberstellung der Legereinsatzvarianten XI und XII

In Tabelle 33 sind die Werte aus den Kapiteln 9 und 10 zusammengefasst. Diese beziehen sich auf einen 12“-Legereinsatz mit einer Feinheit von 12 E. Aus der Gegenüberstellung gehen keine Auskünfte bezüglich des Standvermögens der Legereinsätze hervor. Dies ist nur möglich, wenn eine praxisbezogene Erprobung erfolgt.

Tabelle 33: Gegenüberstellung der Legereinsatzvarianten

		Variante XI	Variante XII
Bearbeitungszeit	Fräsen	+	-
	Drehen	-	nicht notwendig
Durchbiegung am Legereinsatz	x-Richtung	+	-
	y-Richtung	-	+
Anschaffungskosten der Stifte		+	-
Anschaffungskosten der Umlenkelemente		nicht notwendig	-
Materialkosten des Grundkörpers		+	-
Zylinderstifte für die Befestigung am Halter		nicht notwendig	-

(+)...besser, kürzer, preiswerter

(-)...schlechter, länger, teurer

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass Variante XI zu bevorzugen ist, da die Bearbeitungszeit kürzer ist und die Materialkosten geringer sind. Allerdings ist hier die maximale Durchbiegung in y-Richtung größer als bei Variante XII.

Hervorgehend aus dieser Gegenüberstellung wurde ein Zeichnungssatz der Legereinsatzvariante XI (Beispiel: 12“, 12 E) im Anhang hinterlegt (Anhang XIV).

## 11 Zusammenfassung und Ausblick

Im Fokus dieser Arbeit stand die Neugestaltung eines Legereinsatzes für Glasrovings an Multiaxialmaschinen, um bisher bestehende Defizite hinsichtlich des Standvermögens und der Herstellungskosten auszugleichen. Im Ergebnis der Untersuchungen ergaben sich zwei Legereinsatzvarianten, die sich theoretisch als geeignet erwiesen haben.

Aus Variantenvergleichen von denkbaren Legereinsätzen gingen schließlich zwei Varianten hervor, die einer genaueren Prüfung unterzogen wurden. Dabei sind verschiedene Möglichkeiten der Stiftbefestigung und Beschichtungsverfahren sowie unterschiedliche verschleißfeste bzw. harte Materialien detailliert untersucht worden. Ein Legereinsatz wurde mit einer verschleißfesten Schicht versehen (Variante XI), der andere aus verschleißfesten Materialien an den Stellen der Fadenumlenkung bzw. -separierung mit dem Grundkörper zusammengefügt (Variante XII).

Für die anschließende Bewertung wurden Materialkosten und Bearbeitungszeiten als Vergleichskriterien gegenübergestellt. Aussagen in Bezug auf das Standvermögen der Legereinsätze konnten nicht getroffen werden, da dies nachträgliche Versuche erfordert.

Im Gegensatz zum derzeitigen werden bei dem neu ausgelegten Legereinsatz die Stifte in prismenförmige Nuten eingelötet bzw. -geklebt. Diese Kerben besitzen eine vergleichsweise kurze Bearbeitungszeit. Bei der Einordnung der Werkstoffe in des Schaeffler-Diagramm hat sich das Schweißen als eine Möglichkeit der Stiftbefestigung als ungeeignet dargestellt, da die Materialkombinationen mit ungünstigen Gefügeveränderungen einhergehen. Folglich rücken die Fügeverfahren Löten bzw. Kleben in den Vordergrund.

Im Zuge weitergehender Untersuchungen muss das Standvermögen der Legereinsatzvarianten in der Praxis erprobt werden. Eine Ermittlung der Reibwerte für unterschiedliche Materialkombinationen, beispielsweise Glasroving/Hartmetall und Glasroving/TiN, ist sinnvoll, um präzise Berechnungen durchführen zu können.

Es ist zu überlegen, ob auf die Umlenkung der Fadenschar aus der vertikalen in die horizontale Richtung verzichtet werden kann, indem ein Entwurf einer Multiaxialmaschine erarbeitet wird, bei der die Gelegeherstellung aus direkt horizontal

---

kommenen Glasrovings erfolgt. Somit kann die Anzahl der Umlenkelemente und damit der verschleißanfälligen Bauteile reduziert werden.

**Anhang**

Anhang I:	Auszug der Legereinsatzgröße von Karl Mayer MALIMO .....	XI
Anhang II:	Bearbeitungszeit zur Herstellung von Nuten und Kerben .....	XII
Anhang III:	Biegespannung Variante XI.....	XIV
Anhang IV:	Scherbeanspruchung durch Torsion für die Stifte (Variante XI).....	XVII
Anhang V:	Berechnung des Widerstandmomentes der Zapfen.....	XVIII
Anhang VI:	Sicherheitsnachweis des Zapfens.....	XIX
Anhang VII:	Bearbeitungszeit für die Legereinsatzvariante XI .....	XXI
Anhang VIII:	Fräsbearbeitung Variante XI.....	XXIII
Anhang IX:	Berechnung der Biegespannung der Variante XII.....	XXV
Anhang X:	Scherbeanspruchung durch Torsion für die Variante XII.....	XXVIII
Anhang XI:	Festigkeitsnachweis der Schraubverbindung.....	XXIX
Anhang XII:	Zylinderstiftbrechnung zur Befestigung am Halter .....	XXXI
Anhang XIII:	Bearbeitungszeit für die Legereinsatzvariante XII .....	XXXIII
Anhang XIV:	Zeichnungssatz der Legereinsatzes XI .....	XXXVII

**Anhang I: Auszug der Legereinsatzgröße von Karl Mayer MALIMO**

	<b>6 Zoll (152,4 mm)</b>		<b>8 Zoll (203,2 mm)</b>		<b>12 Zoll (304,8 mm)</b>		<b>14 Zoll (355,6 mm)</b>	
<b>Feinheit</b>	<b>Anz.</b>	<b>Teilung [mm]</b>	<b>Anz.</b>	<b>Teilung [mm]</b>	<b>Anz.</b>	<b>Teilung [mm]</b>	<b>Anz.</b>	<b>Teilung [mm]</b>
1,5	9	16,93						
2,75					33	9,24		
4,5	27	5,64	36	5,64			63	5,64
5	30	5,08	40	5,08				
5,25	31,5	4,84						
5,5	33	4,62	44	4,62	66	4,62		
6	36	4,23	48	4,23	72	4,23	84	4,23
6,5	39	3,91	52	3,91	78	3,91		
6,75	40,5	3,76	54	3,76				
7	42	3,63	56	3,63	84	3,63		
7,4			59,2	3,43				
7,5	45	3,39	60	3,39	90	3,39	105	3,39
8	48	3,18	64	3,18	96	3,18		
8,5	51	2,99	68	2,99	102	2,99	119	2,99
8,8	52,8	2,89						
9	54	2,82	72	2,82	108	2,82	126	2,82
9,5	57	2,67	76	2,67				
10	60	2,54	80	2,54	120	2,54		
10,5	63	2,42	84	2,42	126	2,42		
10,75	64,5	2,36						
11	66	2,31	88	2,31	132	2,31		
11,5	69	2,21	92	2,21				
11,7			93,6	2,17			163,8	2,17
12	72	2,12	96	2,12	144	2,12	168	2,12
12,5	75	2,03	100	2,03				
12,7			101,6	2,00	152,4	2,00	177,8	2,00
13	78	1,95	104	1,95	156	1,95	182	1,95
13,2			105,6	1,92				
13,5	81	1,88	108	1,88	162	1,88	189	1,88
13,7			109,6	1,85	164,4	1,85		
14	84	1,81	112	1,81	168	1,81	196	1,81
14,5			116	1,75				
15			120	1,69	180	1,69		
16			128	1,59	192	1,59		
20			160	1,27	240	1,27		
21			168	1,21				

**Anhang II: Bearbeitungszeit zur Herstellung von Nuten und Kerben**

Die Berechnung der Bearbeitungszeit ( $t_H$ ) wird wie folgt für jedes Fräs Werkzeug durchgeführt

Schaftfräser D844K HSSE 8 mm FORUM

$$t_H^{\text{Schaftfräser}} = \frac{i * L}{v_f^{\text{Schaftfräser}}}$$

/9; Seite 103/

$i$  = Anzahl der Zustellungen = 1

$$L = l_a + l + l_{\ddot{u}} = 3 \text{ mm} + 15 \text{ mm} + 3 \text{ mm} = \underline{21 \text{ mm}}$$

$$n = \frac{v_c * 1000}{D^{\text{Schaftfräser}} * \pi} = \frac{24 \frac{\text{m}}{\text{min}} * 1000}{8 \text{ mm} * \pi} = \underline{955 \text{ min}^{-1}}$$

$$v_f^{\text{Schaftfräser}} = f_z * n * Z = 0,11 \text{ mm} * 955 \text{ min}^{-1} * 4 = \underline{420,2 \frac{\text{mm}}{\text{min}}}$$

$$t_H^{\text{Schaftfräser}} = \frac{i * L}{v_f^{\text{Schaftfräser}}} = \frac{1 * 21 \text{ mm}}{420,2 \frac{\text{mm}}{\text{min}}} = \underline{\underline{0,05 \text{ min}}}$$

Prismenfräser D 100 mm HSS DIN 847-T 90° FRANKEN

$$t_H^{\text{Prismenfräser}} = \frac{i * L}{v_f^{\text{Prismenfräser}}}$$

/9; Seite 102/

$i$  = Anzahl der Zustellungen = 1

$$L = l_a + l + l_{\ddot{u}} = 3 \text{ mm} + 15 \text{ mm} + 3 \text{ mm} = \underline{21 \text{ mm}}$$

$$n = \frac{v_c * 1000}{D^{\text{Prismenfräser}} * \pi} = \frac{24 \frac{\text{m}}{\text{min}} * 1000}{100 \text{ mm} * \pi} = \underline{76,4 \text{ min}^{-1}}$$

$$v_f^{\text{Prismenfräser}} = f_z * n * Z = 0,13 \text{ mm} * 76,4 \text{ min}^{-1} * 24 = \underline{238,3 \frac{\text{mm}}{\text{min}}}$$



$$t_H^{Prismenfräser} = \frac{i * L}{v_f^{Prismenfräser}} = \frac{1 * 21 \text{ mm}}{238,3 \frac{\text{mm}}{\text{min}}} = \underline{\underline{0,088 \text{ min}}}$$

### Metallkreissägeblatt - HSS - feingezahnt 100 mm x 1,0 mm BADER

$$t_H^{Sägeblatt} = \frac{i * L}{v_f^{Sägeblatt}}$$

/9; Seite 103/

i = Anzahl der Zustellungen = 2

$$L = l_a + l + l_{ii} = 3 \text{ mm} + 15 \text{ mm} + 3 \text{ mm} = \underline{\underline{21 \text{ mm}}}$$

$$n = \frac{v_c * 1000}{D^{Sägeblatt} * \pi} = \frac{55 \frac{\text{m}}{\text{min}} * 1000}{100 \text{ mm} * \pi} = \underline{\underline{175 \text{ min}^{-1}}}$$

$$v_f^{Sägeblatt} = f_z * n * Z = 0,02 \text{ mm} * 175 \text{ min}^{-1} * 128 = \underline{\underline{448 \frac{\text{mm}}{\text{min}}}}$$

$$t_H^{Sägeblatt} = \frac{i * L}{v_f^{Sägeblatt}} = \frac{2 * 21 \text{ mm}}{448 \frac{\text{mm}}{\text{min}}} = \underline{\underline{0,093 \text{ min}}}$$

**Anhang III: Biegespannung Variante XI**

$$(l1 + l2 + l3 + \dots l100) = 12106 \text{ mm}$$

$$L = 2 * 14 \text{ mm} + 304,8 \text{ mm} = 332,8 \text{ mm}.$$

Biegespannung vom Querschnittes in x-Richtung (einseitig liegende Fadenschar)

$$\Sigma F_{result_x} = F_{result_x} * n_{Glassroving} = 6,18 \text{ N} * 100 = \underline{618 \text{ N}}$$

$$\Sigma F_x = 0 = F_{1x} + F_{2x} \quad \Sigma F_{result_x}$$

$$\Sigma M_{x_{f1}} = 0 = -F_{result_x} * (l1 + l2 + l3 + \dots l100) + F_{2x} * L$$

$$F_{2x} = \frac{F_{result_x} * (l1 + l2 + l3 + \dots l100)}{L} = \frac{6,18 \text{ N} * 12106 \text{ mm}}{332,8 \text{ mm}} = \underline{\underline{225,3 \text{ N}}}$$

$$F_{1x} = \Sigma F_{result_x} - F_{2x} = 618 \text{ N} - 225,3 \text{ N} = \underline{\underline{392,7 \text{ N}}}$$

Stelle 1: (am 57. Glasroving; 139,97 mm von F1)

$$M_{Biege}^{Stelle 1} = F_{1x} * l_{57.Glasroving} - F_{result_x} * (l1 + l2 + l3 + \dots l56)$$

$$M_{Biege}^{Stelle 1} = 392,7 \text{ N} * 139,97 \text{ mm} - 6,18 \text{ N} * 4311,16 \text{ mm} = \underline{\underline{28323,25 \text{ Nmm}}}$$

Stelle 2: (am 58. Glasroving; 142,18 mm von F1)

$$M_{Biege}^{Stelle 2} = F_{1x} * l_{58.Glasroving} - F_{result_x} * (l1 + l2 + l3 + \dots l57)$$

$$M_{Biege}^{Stelle 2} = 392,7 \text{ N} * 142,18 \text{ mm} - 6,18 \text{ N} * 4451,13 \text{ mm} = \underline{\underline{28326,1 \text{ Nmm}}}$$

Stelle 3: (am 59. Glasroving; 144,39 mm von F1)

$$M_{Biege}^{Stelle 3} = F_{1x} * l_{59.Glasroving} - F_{result_x} * (l1 + l2 + l3 + \dots l58)$$

$$M_{Biege}^{Stelle 3} = 392,7 \text{ N} * 144,39 \text{ mm} - 6,18 \text{ N} * 4593,31 \text{ mm} = \underline{\underline{28315,3 \text{ Nmm}}}$$

Das maximale Biegemoment entsteht an Stelle 2 (am 58. Glasroving).

$$\sigma_{Biege_{zul}}^{S235JR} = K_t * \sigma_{bWN}^{S235JR} = 1 * 180 \frac{N}{mm^2} = \underline{\underline{180 \frac{N}{mm^2}}} \quad /7; \text{ Seite 1; TB 1-1a/}$$

$$\sigma_{Biege_{zul}}^{16MnCr5} = K_t * \sigma_{bWN}^{16MnCr5} = 1 * 450 \frac{N}{mm^2} = \underline{\underline{450 \frac{N}{mm^2}}} \quad /7; \text{ Seite 2; TB 1-1c/}$$

$$\sigma_{Biege_x} = \frac{M_{Biege_{max_x}}}{W_y^{Querschnitt}} = \frac{28326,1 \text{ Nmm}}{337,12 \text{ mm}^3}$$

$$\sigma_{Biege_x} = \underline{\underline{84 \frac{N}{mm^2}}} \leq \sigma_{Biege_{zul}}^{S235JR} = 180 \frac{N}{mm^2} \leq \sigma_{Biege_{zul}}^{16MnCr5} = 450 \frac{N}{mm^2}$$

### Biegespannung vom Querschnittes in y-Richtung (einseitig liegende Fadenschar)

$$\Sigma F_{result_y} = F_{result_y} * n_{Glasroving} = 10,71 \text{ N} * 100 = \underline{\underline{1071 \text{ N}}}$$

$$\Sigma F_y = 0 = F_{1y} + F_{2y} \quad \Sigma F_{result_y}$$

$$\Sigma M_{F_{1y}} = 0 = -F_{result_y} * (l_1 + l_2 + l_3 + .. + l_{100}) + F_{2y} * L$$

$$F_{2y} = \frac{F_{result_y} * (l_1 + l_2 + l_3 + .. + l_{100})}{L} = \frac{10,71 \text{ N} * 12106 \text{ mm}}{332,08 \text{ mm}} = \underline{\underline{390,4 \text{ N}}}$$

$$F_{1y} = \Sigma F_{result_y} - F_{2y} = 1071 \text{ N} - 390,4 \text{ N} = \underline{\underline{680,6 \text{ N}}}$$

Stelle 1: (am 57. Glasroving; 139,97 mm von F1)

$$M_{Biege}^{Stelle 1} = F_{1y} * l_{57, Glasroving} - F_{result_y} * (l_1 + l_2 + l_3 + .. l_{56})$$

$$M_{Biege}^{Stelle 1} = 680,6 \text{ N} * 390,6 \text{ mm} - 10,71 \text{ N} * 4311,16 \text{ mm} = \underline{\underline{49091 \text{ Nmm}}}$$

Stelle 2: (am 58. Glasroving; 142,18 mm von F1)

$$M_{Biege}^{Stelle 2} = F_{1y} * l_{58, Glasroving} - F_{result_y} * (l_1 + l_2 + l_3 + .. l_{57})$$

$$M_{Biege}^{Stelle 2} = 680,6 \text{ N} * 142,18 \text{ mm} - 10,71 \text{ N} * 4451,13 \text{ mm} = \underline{\underline{49096,1 \text{ Nmm}}}$$

Stelle 3: (am 59. Glasroving; 144,39 mm von F1)

$$M_{Biege}^{Stelle\ 3} = F_{ly} * l_{59, Glasroving} - F_{result_y} * (l_1 + l_2 + l_3 + ... l_{58})$$

$$M_{Biege}^{Stelle\ 3} = 680,6\ N * 144,39\ mm - 10,71\ N * 4593,31\ mm = \underline{\underline{49077,5\ Nmm}}$$

Das maximale Biegemoment entsteht an Stelle 2 (am 58. Glasroving).

$$\sigma_{Biege_{y_{zul}}}^{S235JR} = K_t * \sigma_{bWN}^{S235JR} = 1 * 180 \frac{N}{mm^2} = \underline{\underline{180 \frac{N}{mm^2}}} \quad /7; \text{ Seite 1; TB 1-1a/}$$

$$\sigma_{Biege_y} = \frac{M_{Biege_{max_y}}}{W_x^{Querschnitt}} = \frac{49096,1\ Nmm}{132,79\ mm^3} = \underline{\underline{369,7 \frac{N}{mm^2}}} \geq \sigma_{Biege_{zul}}^{S235JR} = 180 \frac{N}{mm^2}$$

Diese Biegespannung ist größer als die zulässige, was bedeutet, dass der S235JR für diesen Einsatz nicht geeignet ist. Somit muss auf einen 16MnCr5 zurückgegriffen werden.

$$\sigma_{Biege_{y_{zul}}}^{16MnCr5} = K_t * \sigma_{bWN}^{16MnCr5} = 1 * 450 \frac{N}{mm^2} = \underline{\underline{450 \frac{N}{mm^2}}} \quad /7; \text{ Seite 2; TB 1-1c/}$$

$$\sigma_{Biege_y} = \frac{M_{Biege_{max_y}}}{W_x^{Querschnitt}} = \frac{49096,1\ Nmm}{132,79\ mm^3} = \underline{\underline{369,7 \frac{N}{mm^2}}} \leq \sigma_{Biege_{zul}}^{16MnCr5} = 450 \frac{N}{mm^2}$$

**Anhang IV: Scherbeanspruchung durch Torsion für die Stifte (Variante XI)**

$$\alpha = 90^\circ = 1,57 \text{ rad}$$

$$F_{Ein} = \frac{F_{Aus}}{e^{(\mu(v))^{\alpha}}} = \frac{10 \text{ N}}{e^{(0,3 \cdot 1,57)}} = \underline{6,24 \text{ N}}$$

$$F_{reib} = (e^{\mu(v)\alpha} - 1) \frac{L_{Ein} F_{Aus} + L_{Aus} F_{Ein}}{L_{Ein} e^{\mu(v)\alpha} + L_{Aus}}$$

$$F_{reib} = (e^{(0,3 \cdot 1,57)} - 1) \cdot \frac{300 \text{ mm} \cdot 10 \text{ N} + 1270 \text{ mm} \cdot 6,24 \text{ N}}{300 \text{ mm} \cdot e^{(0,3 \cdot 1,57)} + 1270 \text{ mm}} = \underline{\underline{3,76 \text{ N}}}$$

$$T_{nenn} = F_{reib} \cdot \frac{d_{Stift}}{2} = 3,76 \text{ N} \cdot \frac{1,16 \text{ mm}}{2} = \underline{\underline{2,18 \text{ Nmm}}}$$

$$A = \pi \cdot d_{Stift} \cdot l_{\ddot{u}} = \pi \cdot 1,16 \text{ mm} \cdot 7 \text{ mm} = \underline{\underline{22 \text{ mm}^2}}$$

$$\tau_{L_{zul}} = \frac{\tau_L}{S} = \frac{150 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{2} = 75 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\tau = \frac{2 \cdot K_A \cdot T_{nenn}}{A \cdot d_{Stift}}$$

$$\tau = \frac{2 \cdot 1,4 \cdot 2,18 \text{ Nmm}}{22 \text{ mm}^2 \cdot 1,16 \text{ mm}} = 2,4 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \leq \tau_{L_{zul}} = 75 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

/8; Seite 28; Nr.: 4/

**Anhang V: Berechnung des Widerstandmomentes der Zapfen**x-Richtung

$$I_{Zapfen_x} = I_{links_x} + I_{rechts_x} = \frac{\pi}{64} * \left( (d_{Zapfen_{links_x}})^4 + (d_{Zapfen_{rechts_x}})^4 \right)$$

$$I_{Zapfen_x} = \frac{\pi}{64} * \left( (4,8 \text{ mm})^4 + (4,8 \text{ mm})^4 \right) = \underline{52,12 \text{ mm}^4}$$

$$W_{Zapfen_x} = \frac{I_{Zapfen_x}}{\frac{d_{Zapfen}}{2}} = \frac{52,12 \text{ mm}^4}{2,4 \text{ mm}} = \underline{\underline{21,71 \text{ mm}^3}}$$

y-Richtung

$a = 8 \text{ mm}$  (Stichmaß der Zapfen)

$$I_{Zapfen_y} = I_{links_y} + (A_{Zapfen} * l^2) + I_{rechts_y} + (A_{Zapfen} * l^2)$$

$$I_{Zapfen_y} = \frac{\pi}{64} * (4,8 \text{ mm})^4 + \left( \frac{\pi}{4} * ((4,8 \text{ mm})^2 + (4 \text{ mm})^2) \right) + \frac{\pi}{64} * (4,8 \text{ mm})^4 + \left( \frac{\pi}{4} * ((4,8 \text{ mm})^2 + (4 \text{ mm})^2) \right) = \underline{631,17 \text{ mm}^4}$$

$$W_{Zapfen_y} = \frac{I_{Zapfen_y}}{\left( \frac{a}{2} + \frac{d_{Zapfen}}{2} \right)} = \frac{631,17 \text{ mm}^4}{6,4 \text{ mm}} = \underline{\underline{98,62 \text{ mm}^3}}$$

**Anhang VI: Sicherheitsnachweis des Zapfens**

$$K_A = 1,4$$

/7; Seite 42; TB 3-5/

$$\sigma_{Biege} = \frac{K_A * M_{Biege_{gef. Querschnitt}}}{W_{Zapfen_x}} \leq \sigma_{Biege_{zul}}^{16 MnCr5}$$

$$\sigma_{Biege} = \frac{1,4 * 680,6 \text{ N} * 5 \text{ mm}}{21,71 \text{ mm}^3} = \underline{\underline{219,44 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}}$$

Biegefließgrenze (statischer Nachweis)

$$\sigma_{bF}^{16 MnCr5} = 1,2 * R_{p0,2N} * K_t = 1,2 * 630 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 1 = \underline{\underline{756 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}}$$

$$S_F^{16 MnCr5} = \frac{\sigma_{bF}^{16 MnCr5}}{\sigma_{Biege}} = \frac{756 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{219,44 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = \underline{\underline{3,4 \geq S_{F_{min}} = 1,5}}$$

Dynamischer Festigkeitsnachweis

Durchmesser Verhältnis:

$$\frac{D}{d_{Zapfen}} = \frac{10 \text{ mm}}{4,8 \text{ mm}} = 2,08$$

Umrechnungsfaktor:  $c_b = 1$ 

/7; Seite 46; TB 3-9/

Kerbwirkungszahl:  $\beta_{kb} = 1$ 

/7; Seite 46; TB 3-9/

Faktor der Oberflächenrauheit:  $K_{O\sigma} = 0,93$  (Rz = 3,2 µm)

/7; Seite 48; TB 3-10/

Faktor der Oberflächenverfestigung:  $K_v = 1$ 

/7; Seite 50; TB 3-12/

Geometrischer Größeneinflussfaktor:  $K_g = 1$ 

/7; Seite 49; TB 3-11b/

Gestaltwechselfestigkeit

/8; Seite 14; Nr.: 9/

$$K_{Db} = \left( \frac{\beta_{kb}}{K_g} + \frac{1}{K_{O\sigma}} - 1 \right) * \frac{1}{K_v} = \left( \frac{1}{1} + \frac{1}{0,93} - 1 \right) * \frac{1}{1} = \underline{\underline{1,075}}$$

$$\sigma_{bGW}^{16MnCr5} = \frac{\sigma_{bWN} * K_t}{K_{Db}} = \frac{450 \frac{N}{mm^2} * 1,1}{1,075} = \underline{460,5 \frac{N}{mm^2}}$$

$$S_D^{16MnCr5} = \frac{\sigma_{bGW}^{16MnCr5}}{\sigma_{Biege}} = \frac{460,5 \frac{N}{mm^2}}{219,44 \frac{N}{mm^2}} = 2,09 \geq \underline{\underline{S_{D_{min}} = 1,5}} \quad /8; \text{ Seite 17; Nr.: 28/}$$



**Anhang VII: Bearbeitungszeit für die Legereinsatzvariante XI**Arbeitsgang 1.1 (Planen; analoger Arbeitsgang 1.5)

$$t_H^{\text{Arbeitsgang 1.1}} = \frac{i * D * L * \pi}{f * v_c * 1000} \quad /9; \text{ Seite 89/}$$

$$T = 15 \text{ min}$$

$$f = 0,4 \text{ mm}$$

$$v_c = 250 \frac{\text{m}}{\text{min}} \quad /12; \text{ Seite 80; TB 15/}$$

$$t_H^{\text{Arbeitsgang 1.1}} = \frac{i * D * L * \pi}{f * v_c * 1000} = \frac{1 * 10 \text{ mm} * 6 * \pi}{0,4 \text{ mm} * 1467,6 \frac{\text{m}}{\text{min}} * 1000} = \underline{\underline{1,9 * 10^{-3} \text{ min}}}$$

Arbeitsgang 1.2 (Zapfen schrappen; analoger Arbeitsgang 1.6)

$$t_H^{\text{Arbeitsgang 1.2}} = \frac{i * D * L * \pi}{f * v_c * 1000} \quad /9; \text{ Seite 89/}$$

$$T = 15 \text{ min}$$

$$f = 0,4 \text{ mm}$$

$$v_c = 250 \frac{\text{m}}{\text{min}} \quad /12; \text{ Seite 80; TB 15/}$$

$$t_H^{\text{Arbeitsgang 1.2}} = \frac{i * D * L * \pi}{f * v_c * 1000} = \frac{1 * 10 \text{ mm} * 12 * \pi}{0,4 \text{ mm} * 250 \frac{\text{m}}{\text{min}} * 1000} = \underline{\underline{3,77 * 10^{-3} \text{ min}}}$$

Arbeitsgang 1.3 (Zapfen schlichten; analoger Arbeitsgang 1.7)

$$t_H^{\text{Arbeitsgang 1.3}} = \frac{i * D * L * \pi}{f * v_c * 1000} \quad /9; \text{ Seite 89/}$$

$$T = 15 \text{ min}$$

$$f = 0,4 \text{ mm}$$

$$v_c = 250 \frac{\text{m}}{\text{min}} \quad /12; \text{ Seite 80; TB 15/}$$

$$t_H^{\text{Arbeitsgang 1.3}} = \frac{i * D * L * \pi}{f * v_c * 1000} = \frac{1 * 5,5 \text{ mm} * 12 * \pi}{0,4 \text{ mm} * 250 \frac{\text{m}}{\text{min}} * 1000} = \underline{\underline{2,07 * 10^{-3} \text{ min}}}$$

Arbeitsgang 1.4 (Freistich; analoger Arbeitsgang 1.8)

$$t_H^{\text{Arbeitsgang 1.4}} = \frac{i * D * L * \pi}{f * v_c * 1000} \quad /9; \text{ Seite 89/}$$

$$T = 15 \text{ min}$$

$$f = 0,4 \text{ mm}$$

$$v_c = 250 \frac{\text{m}}{\text{min}} \quad /12; \text{ Seite 80; TB 15/}$$

$$t_H^{\text{Arbeitsgang 1.4}} = \frac{i * D * L * \pi}{f * v_c * 1000} = \frac{1 * 5,0 \text{ mm} * 2 * \pi}{0,4 \text{ mm} * 250 \frac{\text{m}}{\text{min}} * 1000} = \underline{\underline{3,14 * 10^{-4} \text{ min}}}$$

**Anhang VIII: Fräsbearbeitung Variante XI**Arbeitsgang 2.1

$$t_H^{\text{Arbeitsgang 2.1}} = \frac{i * L}{v_f^{D844 KHSSE 10mm}}$$

/9; Seite 103/

i = Anzahl der Zustellungen = 2

$$L = l_a + l + l_{ii} = 3 \text{ mm} + 347 \text{ mm} + 3 \text{ mm} = \underline{353 \text{ mm}}$$

$$n = \frac{v_c * 1000}{D^{D844 KHSSE 10mm} * \pi} = \frac{24 \frac{m}{min} * 1000}{10 \text{ mm} * \pi} = \underline{763,9 \text{ min}^{-1}}$$

$$v_f^{D844 KHSSE 10mm} = f_z * n * Z = 0,11 \text{ mm} * 763,9 \text{ min}^{-1} * 4 = \underline{336,1 \frac{mm}{min}}$$

$$t_H^{\text{Arbeitsgang 2.1}} = \frac{i * L}{v_f^{D844 KHSSE 10mm}} = \frac{2 * 353 \text{ mm}}{336,1 \frac{mm}{min}} = \underline{\underline{2,1 \text{ min}}}$$

Arbeitsgang 2.2

$$t_H^{\text{Arbeitsgang 2.2}} = \frac{i * L}{v_f^{D844 KHSSE 16mm}}$$

/9; Seite 103/

i = Anzahl der Zustellungen = 1

$$L = l_a + l + l_{ii} = 3 \text{ mm} + 347 \text{ mm} + 3 \text{ mm} = \underline{353 \text{ mm}}$$

$$n = \frac{v_c * 1000}{D^{D844 KHSSE 16mm} * \pi} = \frac{24 \frac{m}{min} * 1000}{16 \text{ mm} * \pi} = \underline{477,4 \text{ min}^{-1}}$$

$$v_f^{D844 KHSSE 16mm} = f_z * n * Z = 0,16 \text{ mm} * 477,4 \text{ min}^{-1} * 4 = \underline{305,5 \frac{mm}{min}}$$

$$t_H^{\text{Arbeitsgang 2.2}} = \frac{i * L}{v_f^{D844 KHSSE 16 mm}} = \frac{2 * 353 \text{ mm}}{305,5 \frac{\text{mm}}{\text{min}}} = \underline{\underline{2,3 \text{ min}}}$$

### Arbeitsgang 2.3 (Kerben für die Stifte)

$$t_H^{\text{Arbeitsgang 2.3}} = \frac{i * L}{v_f^{D844 KHSSE 8 mm}}$$

/9; Seite 103/

i = Anzahl der Zustellungen = 145

$$L = l_a + l + l_{ii} = 3 \text{ mm} + 15 \text{ mm} + 3 \text{ mm} = \underline{\underline{21 \text{ mm}}}$$

$$n = \frac{v_c * 1000}{D^{D844 KHSSE 8 mm} * \pi} = \frac{24 \frac{\text{m}}{\text{min}} * 1000}{8 \text{ mm} * \pi} = \underline{\underline{955 \text{ min}^{-1}}}$$

$$v_f^{D844 KHSSE 8 mm} = f_z * n * Z = 0,11 \text{ mm} * 955 \text{ min}^{-1} * 4 = \underline{\underline{420,2 \frac{\text{mm}}{\text{min}}}}$$

$$t_H^{\text{Arbeitsgang 2.3}} = \frac{i * L}{v_f^{D844 KHSSE 8 mm}} = \frac{145 * 21 \text{ mm}}{420,2 \frac{\text{mm}}{\text{min}}} = \underline{\underline{7,2 \text{ min}}}$$

**Anhang IX: Berechnung der Biegespannung der Variante XII**

$$(l1 + l2 + l3 + \dots l100) = 12106 \text{ mm}$$

$$L = 2 * 14 \text{ mm} + 304,08 \text{ mm} = 332,08 \text{ mm}$$

Biegespannung vom Querschnitt in x-Richtung (einseitig anliegende Fadenschar)

$$\Sigma F_{result_x} = F_{result_x} * n_{Glasroving} = 7,28 \text{ N} * 100 = \underline{728 \text{ N}}$$

$$\Sigma F_x = 0 = F_{1x} + F_{2x} \quad \Sigma F_{result_x}$$

$$\Sigma M_{F_{1x}} = 0 = -F_{result_x} * (l1 + l2 + l3 + \dots l100) + F_{2x} * L$$

$$F_{2x} = \frac{F_{result_x} * (l1 + l2 + l3 + \dots l100)}{L} = \frac{7,28 \text{ N} * 12106 \text{ mm}}{332,8 \text{ mm}} = \underline{\underline{265,4 \text{ N}}}$$

$$F_{1x} = \Sigma F_{result_x} - F_{2x} = 728 \text{ N} - 265,4 \text{ N} = \underline{\underline{462,6 \text{ N}}}$$

Stelle 1: (am 57. Glasroving; 139,97 mm von F1)

$$M_{Biege}^{Stelle 1} = F_{1x} * l_{57, Glasroving} - F_{result_x} * (l1 + l2 + l3 + \dots l56)$$

$$M_{Biege}^{Stelle 1} = 462,6 \text{ N} * 139,97 \text{ mm} - 7,28 \text{ N} * 4311,16 \text{ mm} = \underline{\underline{33364,9 \text{ Nmm}}}$$

Stelle 2: (am 58. Glasroving; 142,18 mm von F1)

$$M_{Biege}^{Stelle 2} = F_{1x} * l_{58, Glasroving} - F_{result_x} * (l1 + l2 + l3 + \dots l57)$$

$$M_{Biege}^{Stelle 2} = 462,6 \text{ N} * 142,18 \text{ mm} - 7,28 \text{ N} * 4451,13 \text{ mm} = \underline{\underline{33368,25 \text{ Nmm}}}$$

Stelle 3: (am 59. Glasroving; 144,39 mm von F1)

$$M_{Biege}^{Stelle 3} = F_{1x} * l_{59, Glasroving} - F_{result_x} * (l1 + l2 + l3 + \dots l58)$$

$$M_{Biege}^{Stelle 3} = 462,6 \text{ N} * 144,39 \text{ mm} - 7,28 \text{ N} * 4593,37 \text{ mm} = \underline{\underline{33355 \text{ Nmm}}}$$

$$\sigma_{Biege_{zul}}^{S235JR} = K_t * \sigma_{bWN}^{S235JR} = 1 * 180 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 180 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

/7; Seite 1; TB 1-1a/

$$\sigma_{Biege_{x_{zul}}}^{16MnCr5} = K_t * \sigma_{bWN}^{16MnCr5} = 1 * 450 \frac{N}{mm^2} = \underline{\underline{450 \frac{N}{mm^2}}} \quad /7; \text{ Seite 2; TB 1-1c/}$$

$$\sigma_{Biege_x} = \frac{M_{Biege_{max_x}}}{W_y^{Querschnitt}} = \frac{33368,25 \text{ Nmm}}{525,16 \text{ mm}^3}$$

$$\sigma_{Biege_x} = \underline{\underline{63,5 \frac{N}{mm^2}}} \leq \sigma_{Biege_{x_{zul}}}^{S235JR} = 180 \frac{N}{mm^2} \leq \sigma_{Biege_{zul}}^{16MnCr5} = 450 \frac{N}{mm^2}$$

### Biegespannung vom Querschnittes in y-Richtung (einseitig anliegende Fadenschar)

$$\Sigma F_{result_y} = F_{result_y} * n_{Glasroving} = 8,9 \text{ N} * 100 = \underline{\underline{890 \text{ N}}}$$

$$\Sigma F_y = 0 = F_{1y} + F_{2y} \quad \Sigma F_{result_y}$$

$$\Sigma M_{y_{f1}} = 0 = -F_{result_y} * (l1 + l2 + l3 + .. + l100) + F_{2y} * L$$

$$F_{2y} = \frac{F_{result_y} * (l1 + l2 + l3 + .. + l100)}{L} = \frac{8,9 \text{ N} * 12106 \text{ mm}}{332,08 \text{ mm}} = \underline{\underline{324,45 \text{ N}}}$$

$$F_{1y} = \Sigma F_{result_y} - F_{2y} = 890 \text{ N} - 324,45 \text{ N} = \underline{\underline{565,6 \text{ N}}}$$

Stelle 1: (am 57. Glasroving; 139,97 mm von F1)

$$M_{Biege}^{Stelle 1} = F_{1y} * l_{57.Glasroving} - F_{result_y} * (l1 + l2 + l3 + ... l56)$$

$$M_{Biege}^{Stelle 1} = 565,6 \text{ N} * 139,97 \text{ mm} - 8,9 \text{ N} * 4311,16 \text{ mm} = \underline{\underline{40797,71 \text{ Nmm}}}$$

Stelle 2: (am 58. Glasroving; 142,18 mm von F1)

$$M_{Biege}^{Stelle 2} = F_{1y} * l_{58.Glasroving} - F_{result_y} * (l1 + l2 + l3 + ... l57)$$

$$M_{Biege}^{Stelle 2} = 565,6 \text{ N} * 142,18 \text{ mm} - 8,9 \text{ N} * 4451,13 \text{ mm} = \underline{\underline{40802 \text{ Nmm}}}$$

Stelle 3: (am 59. Glasroving; 144,39 mm von F1)

$$M_{Biege}^{Stelle 3} = F_{1y} * l_{59.Glasroving} - F_{result_y} * (l1 + l2 + l3 + ... l58)$$

$$M_{Biege}^{Stelle 3} = 565,6 \text{ N} * 144,39 \text{ mm} - 8,9 \text{ N} * 4593,37 \text{ mm} = \underline{\underline{40786 \text{ Nmm}}}$$

Das maximale Biegemoment entsteht an Stelle 2 (am 58. Glasroving).

$$\sigma_{Biege_{y_{zul}}}^{S235JR} = K_t * \sigma_{bWN}^{S235JR} = 1 * 180 \frac{N}{mm^2} = 180 \frac{N}{mm^2} \quad /7; \text{ Seite 1; TB 1-1a/}$$

$$\sigma_{Biege_y} = \frac{M_{Biege_{max_y}}}{W_x^{Querschnitt}} = \frac{40802 \text{ Nmm}}{119,82 \text{ mm}^3} = 340,5 \frac{N}{mm^2} \geq \sigma_{Biege_{y_{zul}}}^{S235JR} = 180 \frac{N}{mm^2}$$

Die rechnete Biegespannung ist größer als die zulässige, was bedeutet, dass der S235JR für diesen Einsatz nicht geeignet ist. Somit muss auf einen 16MnCr5 zurückgegriffen werden.

$$\sigma_{Biege_{y_{zul}}}^{16MnCr5} = K_t * \sigma_{bWN}^{16MnCr5} = 1 * 450 \frac{N}{mm^2} = 450 \frac{N}{mm^2} \quad /7; \text{ Seite 3; TB 1-1c/}$$

$$\sigma_{Biege_y} = \frac{M_{Biege_{max_y}}}{W_x^{Querschnitt}} = \frac{40802 \text{ Nmm}}{119,82 \text{ mm}^3} = 340,2 \frac{N}{mm^2} \leq \sigma_{Biege_{y_{zul}}}^{16MnCr5} = 450 \frac{N}{mm^2}$$

**Anhang X: Scherbeanspruchung durch Torsion für die Variante XII**

$$\alpha = 90^\circ = 1,57 \text{ rad}$$

$$F_{Ein} = \frac{F_{Aus}}{e^{(\mu(v))^{\alpha}}} = \frac{10 \text{ N}}{e^{(0,3*1,57)}} = \underline{6,24 \text{ N}}$$

$$F_{reib} = (e^{\mu(v)\alpha} - 1) \frac{L_{Ein} F_{Aus} + L_{Aus} F_{Ein}}{L_{Ein} e^{\mu(v)\alpha} + L_{Aus}}$$

$$F_{reib} = (e^{(0,3*1,57)} - 1) * \frac{300 \text{ mm} * 10 \text{ N} + 1270 \text{ mm} * 6,24 \text{ N}}{300 \text{ mm} * e^{(0,3*1,57)} + 1270 \text{ mm}} = \underline{\underline{3,76 \text{ N}}}$$

$$T_{nenn} = F_{reib} * \frac{d_{Stift}}{2} = 3,76 \text{ N} * \frac{1 \text{ mm}}{2} = \underline{\underline{1,88 \text{ Nmm}}}$$

$$A = \pi * d_{Stift} * l_{\ddot{u}} = \pi * 1 \text{ mm} * 11 \text{ mm} = \underline{\underline{34,55 \text{ mm}^2}}$$

$$\tau_{KB_{zul}} = \frac{\tau_{KB}}{S} = \frac{12 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{2} = \underline{\underline{6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}}$$

$$\tau = \frac{2 * K_A * T_{nenn}}{A * d_{Stift}}$$

$$\tau = \frac{2 * 1,4 * 1,88 \text{ Nmm}}{34,55 \text{ mm}^2 * 1 \text{ mm}} = \underline{\underline{0,15 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}} \leq \tau_{KB_{zul}} = 6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

/8; Seite 28; Nr.: 4/



**Anhang XI: Festigkeitsnachweis der Schraubverbindung**Setzbetrag

$$f_z = 3 \mu m + 3 \mu m + 2 \mu m = 8 \mu m$$

/7; Seite 84; TB 8-10/

Elastische Nachgiebigkeit der Schraube

$$\delta_s = \frac{l}{E_{\text{Schraube}}} \left( \frac{0,4d}{A_N} + \frac{0,5d}{A_3} + \frac{0,4d}{A_N} \right)$$

/8; Seite 70; Nr.: 8/

$$A_N = \frac{\pi * d^2}{4} = \frac{\pi * (4 \text{ mm})^2}{4} = 12,57 \text{ mm}^2$$

/8; Seite 70/

$$A_3 = 7,749 \text{ mm}^2$$

/7; Seite 74; TB 8-1/

$$E_{\text{Schraube}} = 210000 \text{ N/mm}^2$$

$$\delta_s = \frac{l}{210000 \text{ N/mm}^2} \left( \frac{0,4 * 4 \text{ mm}}{12,57 \text{ mm}^2} + \frac{0,5 * 4 \text{ mm}}{7,749 \text{ mm}^2} + \frac{0,4 * 4 \text{ mm}}{12,57 \text{ mm}^2} \right)$$

$$\delta_s = 2,44 * 10^{-6} \frac{\text{mm}}{\text{N}}$$

Elastische Nachgiebigkeit des Halters

$$\delta_T = \frac{l_k}{A_{\text{ers}} * E_T}$$

/8; Seite 70; Nr.: 9/

/8; Seite 70; Nr.: 10/

$$A_{\text{ers}} = \frac{\pi}{4} (d_w^2 - d_h^2) + \frac{\pi}{8} * d_w (D_A - d_w) * \left( \left( \sqrt[3]{\frac{l_k * d_w}{D_A^2}} + 1 \right)^2 - 1 \right)$$

$$A_{\text{ers}} = \frac{\pi}{4} ((7 \text{ mm})^2 - (5 \text{ mm})^2) + \frac{\pi}{8} * 7 \text{ mm} (7,5 \text{ mm} - 7 \text{ mm})$$

$$* \left( \left( \sqrt[3]{\frac{10 \text{ mm} * 7 \text{ mm}}{(7,5 \text{ mm})^2}} + 1 \right)^2 - 1 \right) = 30,73 \text{ mm}^2$$

$$\delta_T = \frac{10 \text{ mm}}{30,73 \text{ mm}^2 * 210000 \text{ N/mm}^2} = 1,549 * 10^{-6} \frac{\text{mm}}{\text{N}}$$

Vorspannverlust infolge des Setzens

/8; Seite 71; Nr.: 21/

$$F_Z = \frac{f_Z}{\delta_s + \delta_T} = \frac{0,008 \text{ mm}}{2,44 * 10^{-6} \frac{\text{mm}}{\text{N}} + 1,549 * 10^{-6} \frac{\text{mm}}{\text{N}}} = \underline{\underline{2005,5 \text{ N}}}$$

Berechnung der Vorspannkraft

/8; Seite 73; Nr.: 33/

$$F_{kl} = \frac{\Sigma F_{result}}{\mu * 4 \text{ Schrauben}} = \frac{100 * 11,5 \text{ N}}{0,5 * 4} = \underline{\underline{575 \text{ N}}} \quad /8; \text{ Seite 71; Nr.: 20/}$$

$$k_A = 1,4$$

/7; Seite 85; TB 8-11/

$$F_{VM} = k_A (F_{kl} + F_Z) = 1,4 * (575 \text{ N} + 2005,5 \text{ N}) = \underline{\underline{2580,5 \text{ N}}}$$

$$\underline{\underline{F_{VM} = 2580,5 \text{ N} \leq F_{Sp} 6700 \text{ N}}}$$

**Anhang XII: Zylinderstiftbrechnung zur Befestigung am Halter**Scherfestigkeit

$$\tau_{Scher_{zul}}^{DIN\ 6325} = 0,1 * R_m = 0,1 * 600 \frac{N}{mm^2} = 60 \frac{N}{mm^2}$$

/8; Seite 97/

$$\tau_{Scher} = \frac{\Sigma F_{result_y}}{n * A_{Zylinderstift}} \leq \tau_{Scher_{zul}}^{DIN\ 6325}$$

$$\tau_{Scher} = \frac{1150\ N}{4 * \frac{\pi}{4} * (5\ mm)^2} = 14,64 \frac{N}{mm^2} \leq \tau_{Scher_{zul}}^{DIN\ 6325} = 60 \frac{N}{mm^2}$$

Lochleibung

$$p_{zul}^{DIN\ 6325} = 0,25 * R_m = 0,25 * 600 \frac{N}{mm^2} = 150 \frac{N}{mm^2}$$

/8; Seite 97/

$$p_{zul}^{S235JR} = 0,25 * R_m = 0,25 * 360 \frac{N}{mm^2} = 90 \frac{N}{mm^2}$$

/8; Seite 97/

$$p^{S235JR} = \frac{K_A * \Sigma F_{result}}{A_{Proj}} \leq p_{zul}^{S235JR}$$

/8; Seite 97, Nr.: 4/

$$p^{S235JR} = \frac{1,4 * 0,25 * 1150\ N}{5\ mm * 10\ mm} = 8,05 \frac{N}{mm^2} \leq p_{zul}^{S235JR} = 90 \frac{N}{mm^2}$$

Biegefestigkeit

$$\sigma_{Biege} = \frac{K_A * M_B}{W} \leq \sigma_{Biege_{zul}}^{DIN\ 6325}$$

/8; Seite 97; Nr.: 2/

$$M_{Biege_y} = F_{ly} * \frac{Halterbreite}{2} = 565,6\ N * 5\ mm = \underline{2828\ Nmm}$$

$$W = \frac{I_{\text{Zylinderstift 1}} + I_{\text{Zylinderstift 2}} + 2(A_{\text{Zylinderstift}} * l^2)}{r_{\text{Zylinderstift}}}$$

$$W = \frac{2 * \frac{\pi}{64} * (d_{\text{Zylinderstift}})^4 + 0}{2,5 \text{ mm}} = \underline{61,36 \text{ mm}^3}$$

$$\sigma_{\text{Biege}_y} = \frac{1,4 * 2828 \text{ Nmm}}{61,36 \text{ mm}^3} = \underline{\underline{64,52 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}} \leq \sigma_{\text{Biege}_y, \text{zul}} = 90 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$M_{\text{Biege}_x} = F_{1x} * \frac{\text{Halterbreite}}{2} = 462,6 \text{ N} * 5 \text{ mm} = \underline{2312,5 \text{ N}}$$

$$I_{\text{ges}} = \Sigma I_{\text{Zylinderstift}} + \Sigma(A_{\text{Zylinderstift}} * l^2)$$

$$\Sigma I_{\text{Zylinderstift}} = \frac{\pi}{64} * (d_{\text{Zylinderstift}})^4 + \frac{\pi}{64} * (d_{\text{Zylinderstift}})^4$$

$$\Sigma I_{\text{Zylinderstift}} = \frac{\pi}{64} ((5 \text{ mm})^4 + (5 \text{ mm})^4) = \underline{61,35 \text{ mm}^4}$$

$$\begin{aligned} \Sigma(A_{\text{Zylinderstifte}} * l^2) &= \left( \frac{\pi}{4} * (d_{\text{Zylinderstift 1}})^2 * \left( \frac{l}{2} \right)^2 \right) \\ &+ \left( \frac{\pi}{4} * (d_{\text{Zylinderstift 2}})^2 * \left( \frac{l}{2} \right)^2 \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma(A_{\text{Zylinderstifte}} * l^2) &= \left( \frac{\pi}{4} * (5 \text{ mm})^2 * (4 \text{ mm})^2 \right) + \left( \frac{\pi}{4} * (5 \text{ mm})^2 * (4 \text{ mm})^2 \right) \\ &= \underline{628,32 \text{ mm}^4} \end{aligned}$$

$$I_{\text{ges}} = 61,35 \text{ mm}^4 + 628,32 \text{ mm}^4 = \underline{689,66 \text{ mm}^4}$$

$$W = \frac{I_{\text{ges}}}{\frac{l}{2} + r_{\text{Zylinderstift}}} = \frac{689,66 \text{ mm}^4}{6,5 \text{ mm}} = \underline{106,1 \text{ mm}^3}$$

$$\sigma_{\text{Biege}_y} = \frac{1,4 * 2312,5 \text{ Nmm}}{106,1 \text{ mm}^3} = \underline{\underline{30,51 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}} \leq \sigma_{\text{Biege}_y, \text{zul}} = 90 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

**Anhang XIII: Bearbeitungszeit für die Legereinsatzvariante XII**Arbeitsgang 1 (Sägen)

Metallkreissägeblatt - HSS - feingezahnt 100 mm x 1,0 mm BADER

$$t_H^{\text{Sägeblatt}} = \frac{i * L}{v_f^{\text{Sägeblatt}}}$$

/9; Seite 103/

i = Anzahl der Zustellungen = 2

$$L = l_a + l + l_{ii} = 3 \text{ mm} + 320 \text{ mm} + 3 \text{ mm} = \underline{326 \text{ mm}}$$

$$n = \frac{v_c * 1000}{D^{\text{Sägeblatt}} * \pi} = \frac{55 \frac{\text{m}}{\text{min}} * 1000}{100 \text{ mm} * \pi} = \underline{175 \text{ min}^{-1}}$$

$$v_f^{\text{Sägeblatt}} = f_z * n * Z = 0,02 \text{ mm} * 175 \text{ min}^{-1} * 128 = \underline{448 \frac{\text{mm}}{\text{min}}}$$

$$t_H^{\text{Sägeblatt}} = \frac{i * L}{v_f^{\text{Sägeblatt}}} = \frac{2 * 326 \text{ mm}}{448 \frac{\text{mm}}{\text{min}}} = \underline{\underline{1,46 \text{ min}}}$$

Arbeitsgang 2 (Sägen Brücke)

Metallkreissägeblatt - HSS - feingezahnt 100 mm x 1,0 mm BADER

$$t_H^{\text{Sägeblatt}} = \frac{i * L}{v_f^{\text{Sägeblatt}}}$$

/9; Seite 103/

i = Anzahl der Zustellungen = 2

$$L = l_a + l + l_{ii} = 3 \text{ mm} + 20 \text{ mm} + 3 \text{ mm} = \underline{26 \text{ mm}}$$

$$n = \frac{v_c * 1000}{D^{\text{Sägeblatt}} * \pi} = \frac{55 \frac{\text{m}}{\text{min}} * 1000}{100 \text{ mm} * \pi} = \underline{175 \text{ min}^{-1}}$$

$$v_f^{\text{Sägeblatt}} = f_z * n * Z = 0,02 \text{ mm} * 175 \text{ min}^{-1} * 128 = \underline{448 \frac{\text{mm}}{\text{min}}}$$

$$t_H^{\text{Sägeblatt}} = \frac{i * L}{v_f^{\text{Sägeblatt}}} = \frac{2 * 26 \text{ mm}}{448 \frac{\text{mm}}{\text{min}}} = \underline{\underline{0,11 \text{ min}}}$$

### Arbeitsgang 3 (Sägen Brücke 15 mm)

Metallkreissägeblatt - HSS - feingezahnt 100 mm x 1,0 mm BADER

$$t_H^{\text{Sägeblatt}} = \frac{i * L}{v_f^{\text{Sägeblatt}}}$$

/9; Seite 103/

i = Anzahl der Zustellungen = 2

$$L = l_a + l + l_{\ddot{u}} = 3 \text{ mm} + 14 \text{ mm} + 3 \text{ mm} = \underline{\underline{20 \text{ mm}}}$$

$$n = \frac{v_c * 1000}{D^{\text{Sägeblatt}} * \pi} = \frac{55 \frac{\text{m}}{\text{min}} * 1000}{100 \text{ mm} * \pi} = \underline{\underline{175 \text{ min}^{-1}}}$$

$$v_f^{\text{Sägeblatt}} = f_z * n * Z = 0,02 \text{ mm} * 175 \text{ min}^{-1} * 128 = \underline{\underline{448 \frac{\text{mm}}{\text{min}}}}$$

$$t_H^{\text{Sägeblatt}} = \frac{i * L}{v_f^{\text{Sägeblatt}}} = \frac{2 * 20 \text{ mm}}{448 \frac{\text{mm}}{\text{min}}} = \underline{\underline{0,09 \text{ min}}}$$

### Arbeitsgang 4 (Fräsen Nut)

Scheibenfräser D1834A HSSE 100 mm x 3,0 mm FORUM

$$t_H^{\text{Scheibenfräser}} = \frac{i * L}{v_f^{\text{Scheibenfräser}}}$$

/9; Seite 102/

i = Anzahl der Zustellungen = 4

$$L = l_a + l + l_{\ddot{u}} = 3 \text{ mm} + 320 \text{ mm} + 3 \text{ mm} = \underline{\underline{326 \text{ mm}}}$$

$$n = \frac{v_c * 1000}{D^{\text{Scheibenfräser}} * \pi} = \frac{24 \frac{\text{m}}{\text{min}} * 1000}{100 \text{ mm} * \pi} = \underline{\underline{76,4 \text{ min}^{-1}}}$$

$$v_f^{\text{Scheibenfräser}} = f_z * n * Z = 0,13 \text{ mm} * 76,4 \text{ min}^{-1} * 36 = 357,5 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$$

$$t_H^{\text{Scheibenfräser}} = \frac{i * L}{v_f^{\text{Scheibenfräser}}} = \frac{4 * 326 \text{ mm}}{357,5 \frac{\text{mm}}{\text{min}}} = 3,64 \text{ min}$$

### Arbeitsgang 5 (Kerben für die Stifte)

$$t_H^{\text{Arbeitsgang 5}} = \frac{i * L}{v_f^{D844 \text{ KHSSE } 8 \text{ mm}}}$$

/9; Seite 103/

i = Anzahl der Zustellungen = 145

$$L = l_a + l + l_{ü_r} = 3 \text{ mm} + 15 \text{ mm} + 3 \text{ mm} = 21 \text{ mm}$$

$$n = \frac{v_c * 1000}{D^{D844 \text{ KHSSE } 8 \text{ mm}} * \pi} = \frac{24 \frac{\text{m}}{\text{min}} * 1000}{8 \text{ mm} * \pi} = 955 \text{ min}^{-1}$$

$$v_f^{D844 \text{ KHSSE } 8 \text{ mm}} = f_z * n * Z = 0,11 \text{ mm} * 955 \text{ min}^{-1} * 4 = 420,2 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$$

$$t_H^{\text{Arbeitsgang 5}} = \frac{i * L}{v_f^{D844 \text{ KHSSE } 8 \text{ mm}}} = \frac{145 * 21 \text{ mm}}{420,2 \frac{\text{mm}}{\text{min}}} = 7,2 \text{ min}$$

### Arbeitsgang 6 (Fräsen d3)

Konstante für das Ein- und Auslaufen

$$C = 0,3 \dots 0,5 \text{ mm}$$

/9; Seite 104/

$$v_f = 250 \dots 350 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$$

/9; Seite 104/

$$t_H^{\text{Arbeitsgang 6}} = \frac{(l - D) * (t + C)}{v_f * a_p}$$

/9; Seite 104/

$$t_H^{\text{Arbeitsgang 6}} = \frac{(320 \text{ mm} - 10 \text{ mm}) * (1,5 \text{ mm} + 0,5)}{250 \frac{\text{mm}}{\text{min}} * 0,175 \text{ mm}} = 14,2 \text{ min}$$

Arbeitsgang 7 (Bohren)

$$t_H^{\text{Arbeitsgang 7}} = i * \frac{L}{f * n}$$

/9; Seite 103/

$$L = l_a + l = 3 \text{ mm} + 12 \text{ mm} = \underline{15 \text{ mm}}$$

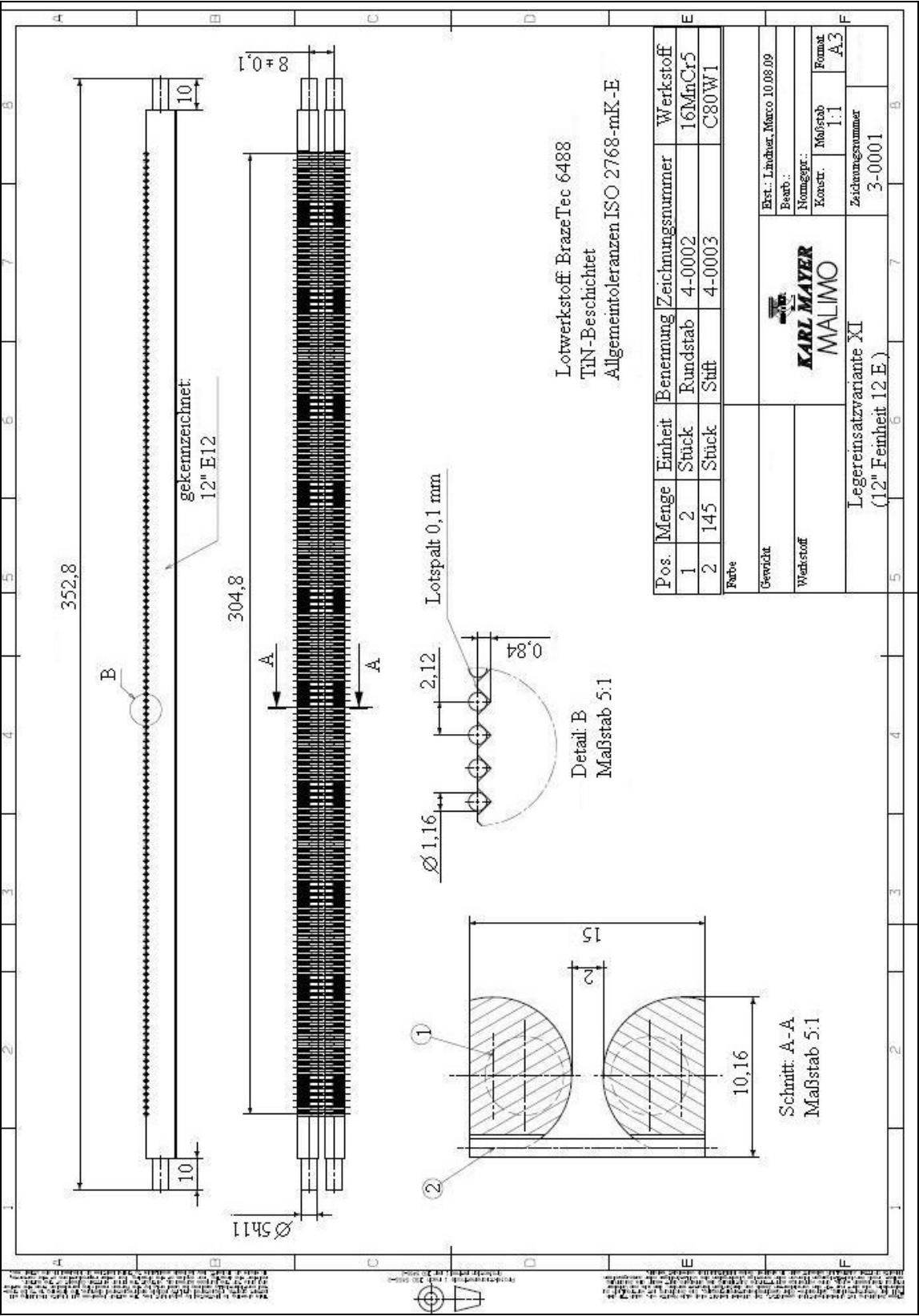
$$n = \frac{v_c * 1000}{D^{\text{HM-Bohrer}} * \pi} = \frac{70 \frac{\text{m}}{\text{min}} * 1000}{5,05 \text{ mm} * \pi} = \underline{2785 \text{ min}^{-1}}$$

$$v_f^{\text{HM-Bohrer}} = f * n = 0,1 \text{ mm} * 2785 \text{ min}^{-1} = \underline{278,5 \frac{\text{mm}}{\text{min}}}$$

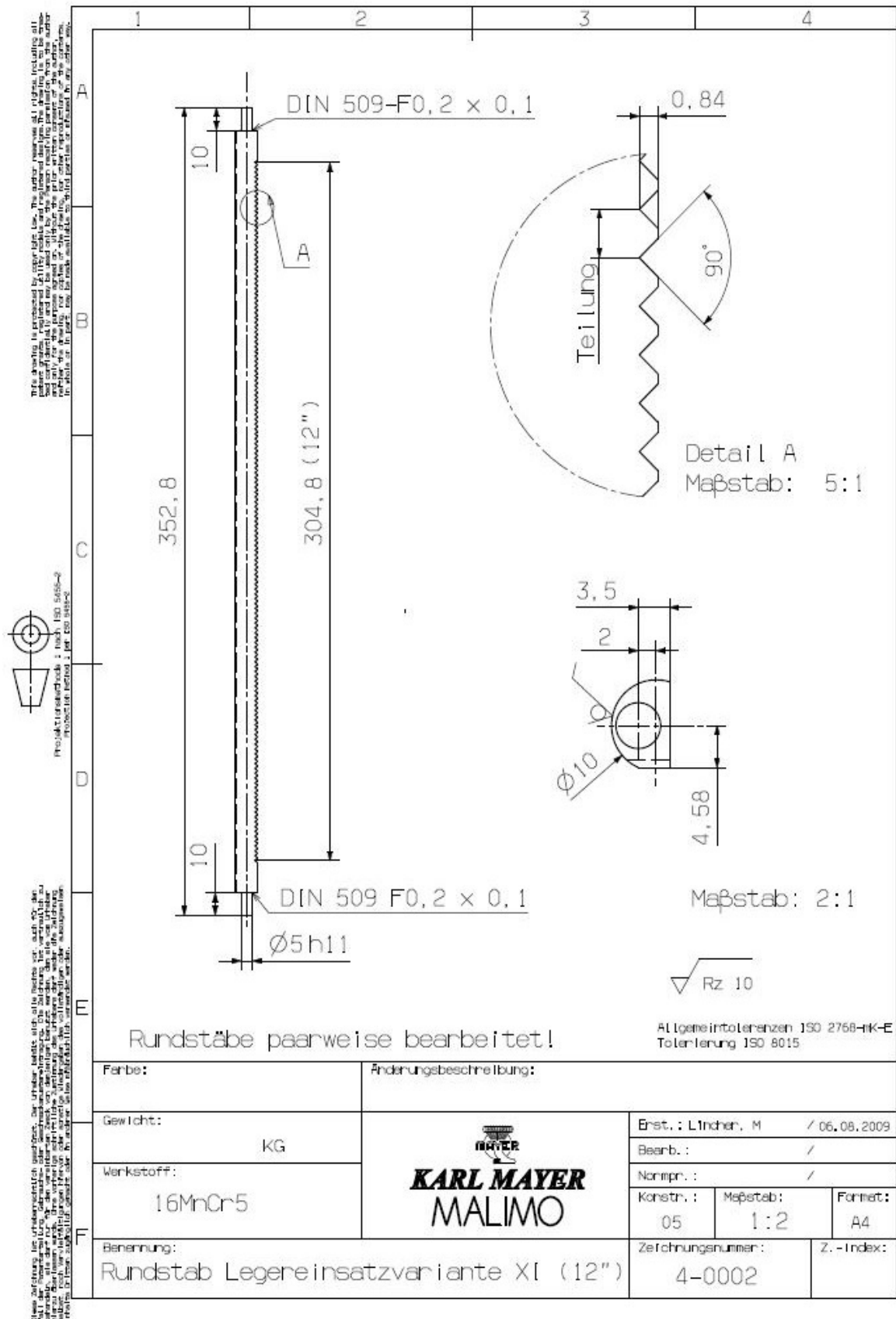
$$t_H^{\text{Arbeitsgang 7}} = 4 * \frac{15 \text{ mm}}{278,5 \frac{\text{mm}}{\text{min}}} = \underline{\underline{0,21 \text{ min}}}$$



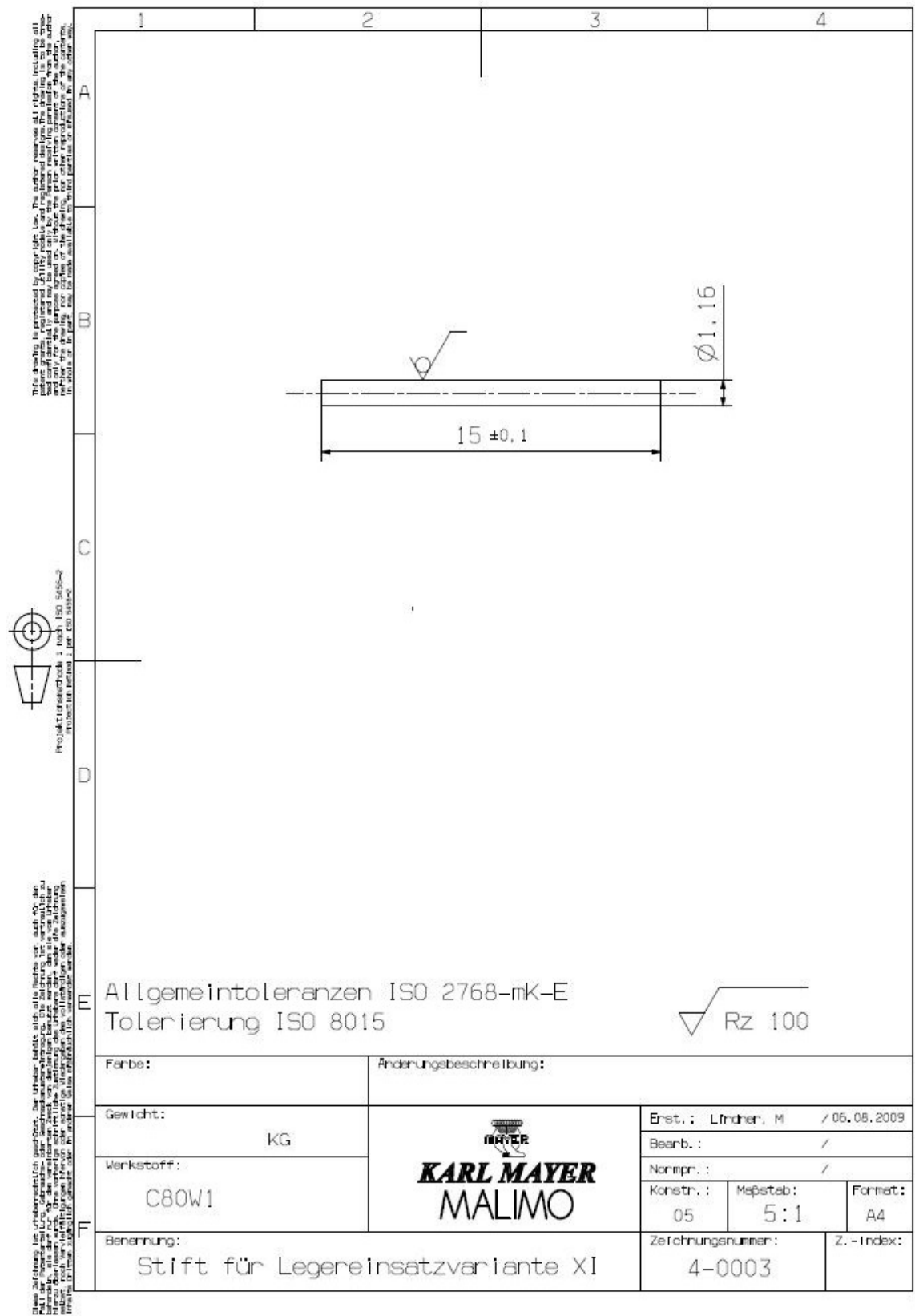
Anhang XIV: Zeichnungssatz der Legereinsatzes XI



Zeichnung 1: Baugruppe Legereinsatzvariante XI



Zeichnung 2: Einzelteilzeichnung Rundstab



Zeichnung 3: Einzelteilzeichnung Stift

## Quellenverzeichnis

### Literaturquellen

- /1/ Knein-Linz, Robert; Machatschke, Rolf;  
Verarbeitung von Glasfilamentgarnen im Webprozess-Aachen;  
Shaker Verlag 2000;  
ISBN 3-8265-7782-5
- /2/ Beitel Schmidt, M. (SULZER INNOTECH AG, Winterthur)  
Forschungsbericht IV/1; 7. Chemnitzer Textilmaschinentagung 1999;  
Simulation der Kett- und Warenkräfte in verschiedenen Webmaschinentypen;  
Herausgeber: Technische Universität Chemnitz, 1999
- /3/ Wacker, Gerd;  
Experimentell gestützte Identifikation ausgewählter Eigenschaften  
glasfaserverstärkter Epoxidharze unter Berücksichtigung der Grenzschicht;  
Shaker Verlag, Kassel 1996  
ISBN 3-8265-1868-3
- /4/ Bergmann, Wolfgang;  
Werkstofftechnik 2; 3. Auflage;  
Karl Hanser Verlag München, Wien 2002;  
ISBN 3-446-21639-1
- /5/ Fischer, U.; Näher, F; Röhrer, W. ; Heinzler, M.;  
Tabellenbuch Metall; 42. Auflage;  
Verlag Europa- Lehrmittel, Haan-Gruiten 2002;  
ISBN 3-8085-1722-0
- /6/ Muhs, D.; Wittel, H.; Becker, M.; Jannasch, D.; Voßiek, J.;  
Rolloff/ Matek Maschinenelemente; 16. Auflage;  
Viewegs Fachbücher der Technik, Wiesbaden, 2003;  
ISBN 3-528-07028-5
- /7/ Muhs, D.; Wittel, H.; Becker, M.; Jannasch, D.; Voßiek, J.;  
Rolloff/ Matek Maschinenelemente Tabellen; 16. Auflage;  
Viewegs Fachbücher der Technik, Wiesbaden, 2003;  
ISBN 3-528-07028-5

- 
- /8/ Muhs, D.; Wittel, H.; Becker, M.; Jannasch, D.; Voßiek, J.;  
Rolloff/ Matek Maschinenelemente Formelsammlung; 7. Auflage;  
Viewegs Fachbücher der Technik, Wiesbaden, 2003;  
ISBN 3-528-64482-6
- /9/ Lochmann, Klaus;  
Formelsammlung Fertigungstechnik;  
Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag 2001;  
ISBN 3-446-21652-9
- /10/ Kienel, Gerhard;  
Vakuumbeschichtung 5, Anwendung Teil II;  
VDI Verlag Düsseldorf 1993;  
ISBN 3-18-401315-4
- /11/ Matthes, Klaus-Jürgen; Richter Erhardt;  
Schweißtechnik. 4. Auflage, Schweißen von Metallischen Konstruktionswerkstoffen;  
Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag 2008;  
ISBN 978-3-446-41422-8
- /12/ Czichos, Horst; Habig, Karl-Heinz;  
Tribologie Handbuch, Reibung und Verschleiß;  
Friedrich Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig/  
Wiesbaden 1992;  
ISBN 3-528-06354-8
- /13/ Tschätsch, Heinz;  
Praxis der Zerspantechnik; Verfahren, Werkzeuge, Berechnung; 6. Auflage;  
Viewegs Fachbücher der Technik, Wiesbaden, 2002;  
ISBN 3-528-34986-7
- /14/ Ziedler, G; Reuchsel, D; Vettermann, F;  
Forschungsbericht VII/4; 10. Chemnitzer Textilmaschinentagung 2005;  
Verbesserung der Gelegequalität durch ein neues Verfahren zum Schusseintrag  
auf Karl Mayer Multiaxialmaschinen;  
Herausgeber: Technische Universität Chemnitz, 2005
- /15/ Kienl, Gerhard; Röhl, Klaus;  
Vakuumbeschichtung 2, Verfahren und Anlagen;  
VDI-Verlag Düsseldorf 1995;  
ISBN 3-18-401312-X

- /16/ Ploch; Böttcher; Scharch;  
MALIMO Nähwirktechnologie; 1. Auflage;  
VEB Fachbuchverlag Leipzig, 1978

## Internetquellen

- /Int. 1/ Ledermann, Markus; Beiträge zur Optimierung von Faserverbunden nach dem Vorbild der Natur;  
<http://bibliothek.fzk.de/zb/berichte/FZKA6779.pdf>;  
Stand: 15.07.2009; 14:30 Uhr
- /Int. 2/ Fibretech Composites; Verstärkungsfasern  
[www.fibretech-composites.de/downloads/1\\_verstaerkungsfasernpdf.pdf](http://www.fibretech-composites.de/downloads/1_verstaerkungsfasernpdf.pdf);  
Stand: 15.07.2009; 14:30 Uhr
- /Int. 3/ HP-textiles;  
<http://www.hp-textiles.com/multiaxialgelege.htm>;  
Stand: 16.07.2009; 11:00 Uhr
- /Int. 4/ Roymech;  
[http://www.roymech.co.uk/Useful\\_Tables/Tribology/co\\_of\\_frict.htm](http://www.roymech.co.uk/Useful_Tables/Tribology/co_of_frict.htm)  
Stand: 15.07.2009; 14:45 Uhr
- /Int. 5/ Jenny+ Co.AG, Winterthur, Schweiz; Reinforcements for Composites;  
[www.jenny.ch/Verbundwerkstoffe/Hexcel/AllgemeineInfos.htm](http://www.jenny.ch/Verbundwerkstoffe/Hexcel/AllgemeineInfos.htm) - 56k  
Stand: 02.04.2009; 10:30 Uhr
- /Int. 6/ Dankert, Jürgen; E-Mail: D@nkert.de; Flächenmomente-Online-Berechnung;  
<http://www.juergendankert.de/Fmom>  
Stand: 20.07.2009; 14:50 Uhr
- /Int. 7/ Lober, Dietmar; E-Mail: kontakt@metallograf.de; Metallograf;  
<http://www.metallograf.de/start.htm>;  
Stand: 01.07.2009; 9:00 Uhr
- /Int. 8/ Bröhler Welding group;  
[http://www.bohlerweldinggroup.ch/german/files/D\\_Info-Vorwaermen.pdf](http://www.bohlerweldinggroup.ch/german/files/D_Info-Vorwaermen.pdf);  
Stand 20.07.2009; 14:00 Uhr
- /Int. 9/ cdang; Diagramme schaeffler soudure.svg;  
[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Diagramme\\_schaeffler\\_soudure.svg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Diagramme_schaeffler_soudure.svg);  
(publik domain) Stand: 20.07.2009; 11:00 Uhr

- /Int. 10/ Prandl Michael; E-Mail: [schrauben-normen@mipraso.de](mailto:schrauben-normen@mipraso.de);  
Vorspannkräfte und Anziehmomente metrischer Schrauben;  
<http://www.schrauben-normen.de/anziehmomente.html>;  
Stand 20.07.2009; 8:00 Uhr
- /Int. 11/ Möller, F.; Keramische Schichten - Hinweise aus der Praxis;  
[http://www.rauschert-k.de/cms/upload/pdf/Artikel\\_KeramischeSchichten.pdf](http://www.rauschert-k.de/cms/upload/pdf/Artikel_KeramischeSchichten.pdf);  
Stand: 10.06.2009; 7:30 Uhr
- /Int. 12/ Lienhard; Paterok; Leonhard;  
Hochleistungswerkzeuge für die Bearbeitung von GFK;  
[www.plastverarbeiter.de /ai/resources/481ea774121.pdf](http://www.plastverarbeiter.de/ai/resources/481ea774121.pdf)  
Stand: 02.05.2009; 9:00 Uhr
- /Int. 13/ Zorn, Holger; 2. Colloquim on Textile Reinforced Structures (CTRS2);  
Alkaliresistente Glasfasern, Von der Herstellung bis zur Anwendung;  
[cms.nodal.de/sites/1009/pdf/2.pdf](http://cms.nodal.de/sites/1009/pdf/2.pdf);  
Stand: 27.07.2009; 13:00 Uhr
- /Int. 14/ Bucher, Volker; Galvonotechnik;  
DLC-Schichten als Ersatz für Chromschichten;  
<http://www.leuze-verlag.de/gt/heft/aufsatz/200604%5CGT-814-818.pdf>;  
Stand: 20.07.2009; 14:00 Uhr
- /Int. 15/ Firmenprospekt Karl Mayer MALIMO Textilmaschinenfabrik GmbH;  
Multiaxial;  
[http://www.karlmayer.com/internet/docs/Multiaxial\\_0807.pdf](http://www.karlmayer.com/internet/docs/Multiaxial_0807.pdf);  
Stand: 05.05.2009; 11:00 Uhr
- /Int. 16/ Wikipedia, Die freie Enzyklopädie; Glasfaser;  
<http://de.wikipedia.org/wiki/Glasfaser>;  
Stand: 04.08.2009; 7:45 Uhr
- /Int. 17/ Werkzeug Eylert GmbH & Co. KG; Produktkatalog;  
<http://www.werkzeug-eylert.de>  
Stand: 25.07.2009; 9:00 Uhr
- /Int. 18/ Carbidur Hartmetall GmbH & Co. KG; Kelter-Dietlingen;  
<http://www.carbidur.de/sorten.html>;  
Stand: 17.08.2009; 9:00 Uhr

## **Erklärung zur selbstständigen Anfertigung**

Hiermit erkläre ich, Marco Lindner, diese Diplomarbeit zum Thema

„Konstruktive Neugestaltung des Legereinsatz für Glasrovings an  
Multiaxialmaschinen“

selbstständig und ausschließlich unter Verwendung der angegebenen Literatur und  
Informationsquellen angefertigt zu haben.

Chemnitz, 24.August 2009

Marco Lindner



### **Danksagung**

Diese Arbeit entstand bei Karl Mayer MALIMO Textilmaschinenfabrik GmbH in Chemnitz, in der Abteilung Technische Textilien.

Für die Betreuung seitens der Hochschule Mittweida (FH) sowie für hilfreiche Anregungen bedanke ich mich bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Frank Müller.

Besonderer Dank gilt Herrn Dipl.-Ing. Klaus Wiedenhöft (Karl Mayer MALIMO Textilmaschinenfabrik GmbH) für die engagierte Betreuung und ständige Gesprächsbereitschaft, die bereichernden Denkanstöße während der Bearbeitungsphase sowie für die Hinweise zur Korrektur meiner Arbeit.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Peter Hübner von der Hochschule Mittweida (FH) möchte ich für die hilfreichen Ratschläge auf den Gebieten der Füge- und Schweißtechnik danken.

Meiner Verlobten Doreen Pester danke ich ganz besonders für Ihre Geduld sowie für die alltägliche Unterstützung während der gesamten Studienzeit, hauptsächlich aber in der Diplomphase.

Schließlich möchte ich auch meinen Eltern für die Unterstützung während meiner Studienzeit herzlich danken.